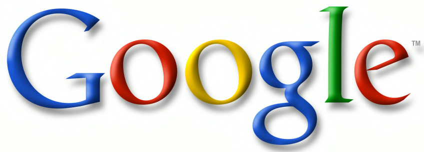
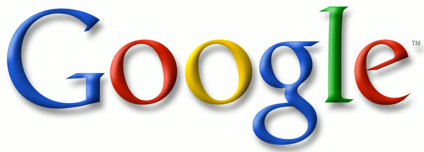
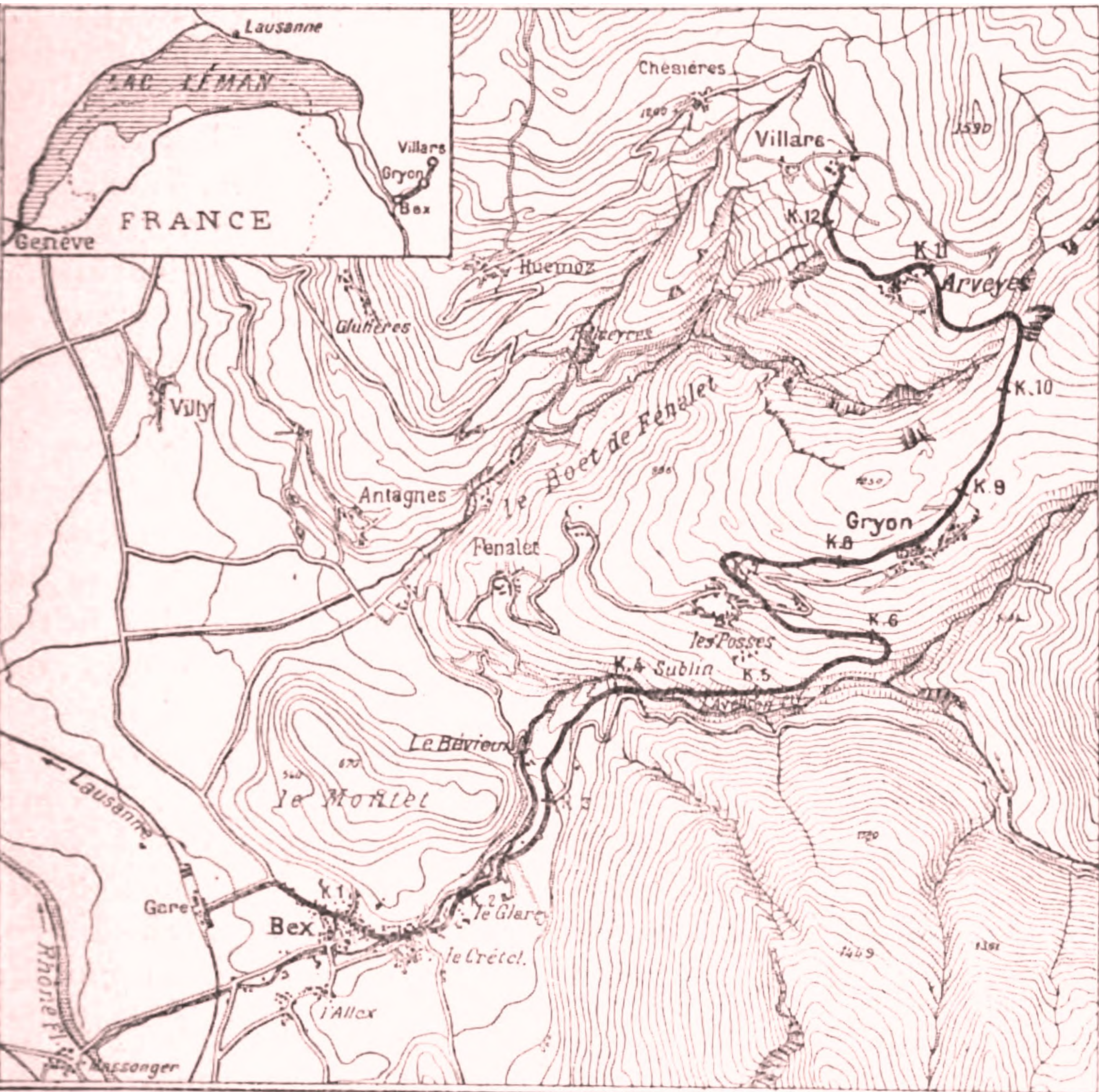
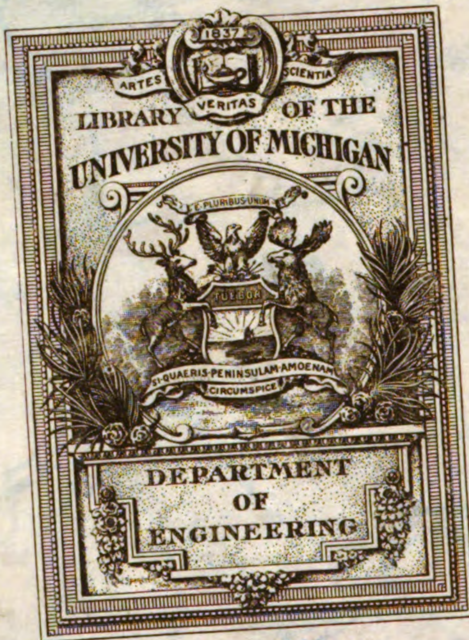
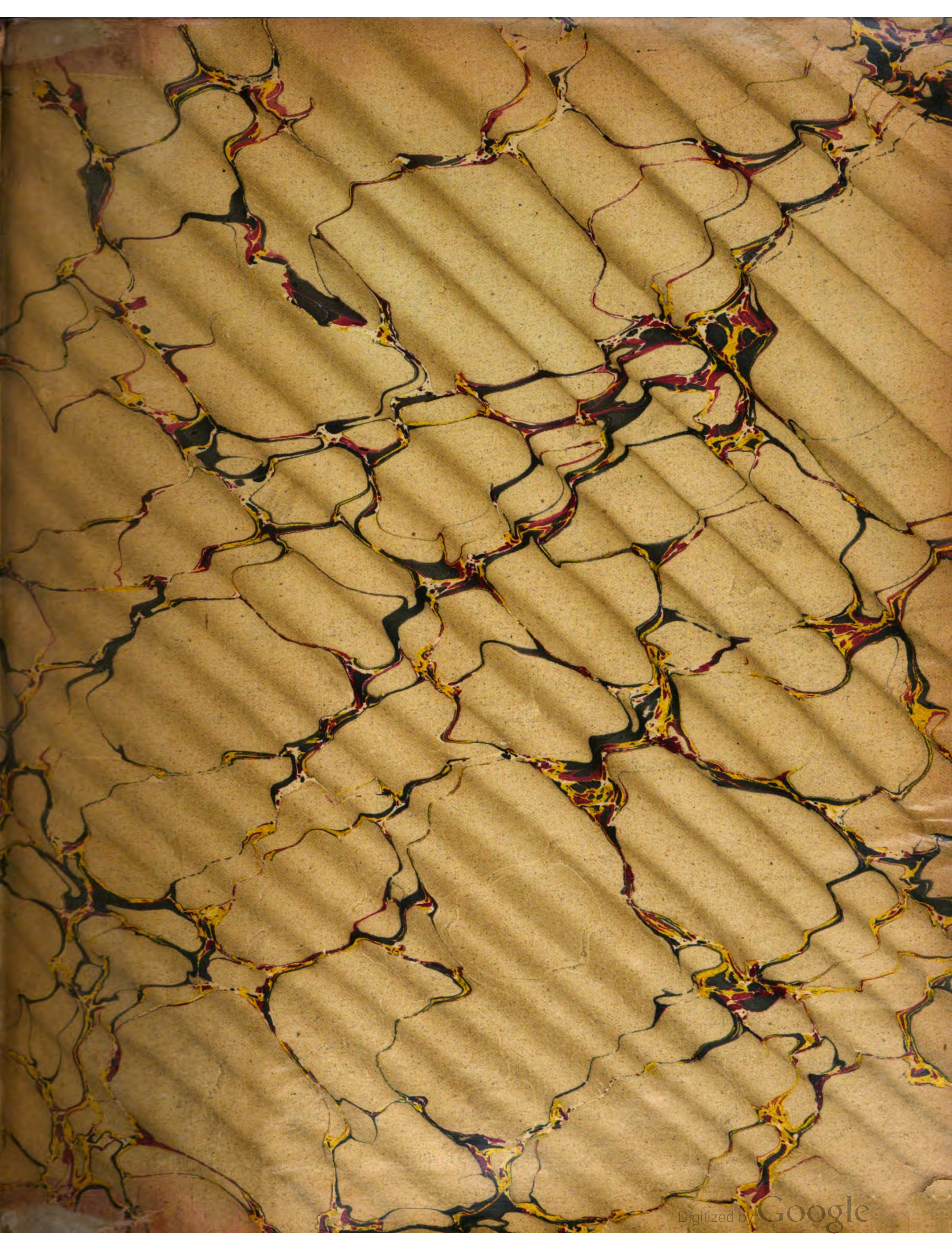






La Lumière électrique


1837
ARTES
VERITAS
SCIENTIA
LIBRARY OF THE
UNIVERSITY OF MICHIGAN
E PLURIBUS UNUM
TUEBOR
SI QUAERIS PENINSULAM AMOENAM
CIRCUMSPICE
DEPARTMENT
OF
ENGINEERING
Returned to General Library



L'Éclairage Électrique

REVUE HEBDOMADAIRE DES TRANSFORMATIONS

Électriques — Mécaniques — Thermiques

DE

L'ÉNERGIE

L'Éclairage Électrique

REVUE HEBDOMADAIRE DES TRANSFORMATIONS

Électriques — Mécaniques — Thermiques

DE

L'ÉNERGIE

DIRECTION SCIENTIFIQUE

TOME XXIX

4e TRIMESTRE 1901

PARIS

ANCne LIBrie G. CARRÉ ET C. NAUD

C. NAUD, ÉDITEUR

3, RUE RACINE, 3

Tome XXIX. **Samedi 5 Octobre 1901.** **8e Année. — N° 40.**

L'Éclairage Électrique

REVUE HEBDOMADAIRE DES TRANSFORMATIONS

Électriques — Mécaniques — Thermiques

DE

L'ÉNERGIE

MOTEUR A COURANT ALTERNATIF SIMPLE

SANS BALAIS ET DÉMARRANT SEUL

Une dynamo à courant continu de type courant, dont le circuit magnétique est constitué par des empilages de tôles isolées, est disposée comme l'indique schématiquement la figure 1, avec les balais écartés de la zone neutre. On relie les balais à une source de courant alternatif et la machine, bien que ne possédant aucune excitation particulière, se met en marche aussitôt : elle tourne dans le sens même où les balais sont décalés par rapport à la zone neutre. Le champ nécessaire prend naissance sous l'influence des ampères-tours d'induit entre *ab* et *cd*, et, comme il est facile de le voir, toute autre excitation est superflue si le nombre des spires d'induit est suffisant. Il est évident que le couple maximum correspond au calage *ac* des balais, tout contre les cornes polaires.

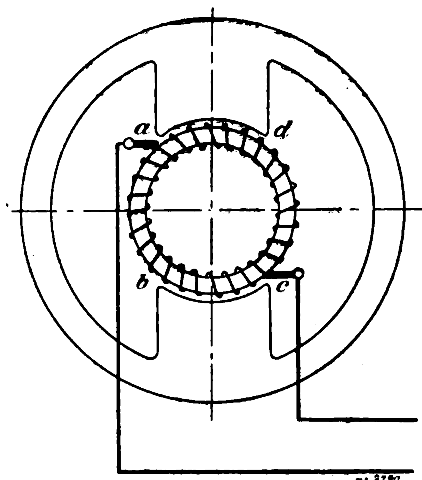


Fig. 1.

Un moteur, constitué comme il vient d'être dit, possède toutes les propriétés spécifiques des moteurs série à courant continu : couple de démarrage élevé, nombre de tours dépendant de la charge, faculté de régler la vitesse. De plus, en dimensionnant convenablement un tel moteur, on peut lui donner un facteur de puissance de beaucoup supérieur à celui qu'on atteint avec les moteurs à courant

alternatif simple de type ordinaire. Malheureusement il se produit au collecteur une pluie d'étincelles intolérable, ce qui est un obstacle àtoute application pratique.

Cette circonstance m'a amené à réaliser la distribution nécessaire pour la mise en marche par un dispositif autre que le déplacement des points d'alimentation du courant :

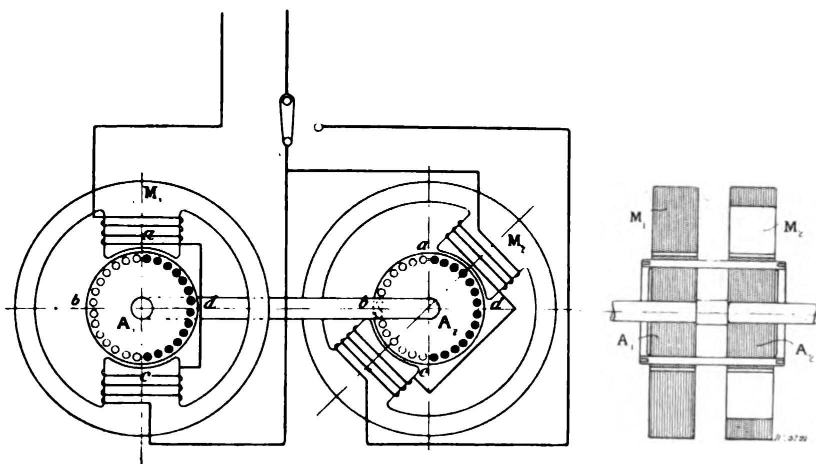


Fig. 2.

j'ai eu recours aux phénomènes d'induction de telle sorte que les balais mêmes deviennent absolument inutiles [1].

Les figures 2 représentent schématiquement la disposition d'un moteur bipolaire : en principe, cet appareil comporte deux systèmes inducteurs de moteurs ordinaires au milieu desquels tourne un induit commun. Pour simplifier, cet induit est représenté en cage d'écureuil : on doit remarquer que ce dispositif réduirait le couple de démarrage et qu'à ce point de vue un rotor à bobinages polyphasés conviendrait mieux.

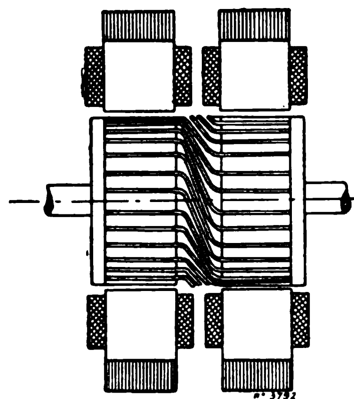


Fig. 3.

Les pôles inducteurs sont décalés l'un par rapport à l'autre d'un angle de 45° : l'expression générale de la valeur de cet angle est d'ailleurs $\frac{90}{p}$, p étant le nombre de pôles du moteur élémentaire. Notons en passant qu'au lieu de décaler les pôles inducteurs, on pourrait décaler d'une quantité égale les bobinages induits correspondants : cette variante est représentée par la figure 3.

Pour faire démarrer le moteur, on envoie le courant dans l'un des deux enroulements inducteurs M_1, par exemple ; l'autre enroulement, M_2, est laissé hors circuit.

L'enroulement M_1 se comporte alors, par rapport à l'enroulement induit A_1, comme le circuit primaire d'un transformateur par rapport au secondaire, c'est-à-dire que l'armature A_1 devient le siège d'un courant, lequel donne à son tour naissance à un champ dont l'axe coïncide avec celui du champ M_1.

Comme les enroulements induits A_1 et A_2 sont communs, on conçoit que le flux pro-

[1] Le brevet relatif au moteur de ce système a été obtenu le 17 décembre 1896 (Brevet suisse n° 13651), mais les circonstances ne m'ont permis que très récemment d'en construire un modèle. Comme jusqu'aujourd'hui aucune publication n'a été faite à ce sujet, les renseignements que l'on va lire sont encore d'actualité.

duit par les conducteurs placés entre *ab* et *cd* se ferme par le circuit inducteur M_2 et ce second flux réagit sur les conducteurs *ad* et *bc*, de manière à donner un couple sensiblement en phase. Lorsque le moteur a atteint une certaine vitesse, l'enroulement inducteur M_2 est mis en circuit : le moteur devient un moteur asynchrone ordinaire et tourne à vitesse sensiblement constante quelle que soit la charge.

Je ferai remarquer incidemment une intéressante particularité de ce moteur. Si, par exemple, l'enroulement M_1 est mis le premier en circuit, le moteur se met à tourner de gauche à droite, et conserve ce sens de marche quand on vient à fermer le circuit M_2. Si on opère à l'inverse, c'est-à-dire si le courant est d'abord envoyé dans l'enroulement M_2, le circuit M_1 n'étant plus fermé qu'après le démarrage, le moteur tourne de droite à gauche. Il est donc possible de changer à volonté le sens de rotation.

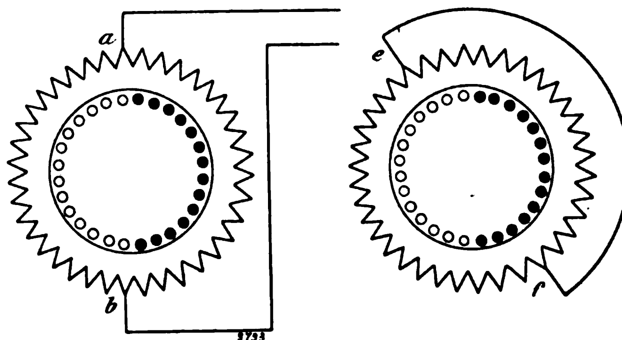


Fig. 4.

Ce moteur est très bon marché : il convient donc tout particulièrement aux besoins divers de l'industrie domestique; commande de machines à coudre, ventilateurs, etc. Pour des puissances notables, il est préférable d'employer deux moteurs séparés avec rotor à bagues, et même de faire tourner le circuit inducteur, afin de diminuer le nombre de bagues. Le principe peut être également appliqué à l'établissement de lampes à arc à courants alternatifs, de compteurs, etc. : toutefois, pour ces applications, les induits sont à disque afin de diminuer les frottements.

Dans le système que nous venons de décrire, le champ nécessaire pour le démarrage est produit par le décalage des bobines inductrices correspondantes. Le même résultat pourrait être obtenu par un bobinage particulier du champ secondaire (fig 4). Il serait en effet possible de mettre en court-circuit deux points *ef* opposés de l'enroulement M_2, la ligne *ef* étant décalée de $\frac{90}{p}$ par rapport au champ magnétique. Le fonctionnement du moteur ne serait plus alors aussi bon, parce qu'un champ de dispersion prend naissance dans la direction *ef*, ce qui vient affaiblir le couple moteur.

Quel que soit d'ailleurs le dispositif auquel on s'arrête, les encoches doivent être complètement fermées. Pour réaliser le moteur suivant le schéma de la figure 1, il faut de plus arrondir assez fortement les cornes polaires et choisir le nombre des dents de l'induit de manière qu'il ne se produise pas d'étincelles. J. FISCHER-HINNEN.

INFLUENCE DE LA LUMIÈRE
SUR LES PROPRIÉTÉS ÉLECTRIQUES SUPERFICIELLES

Dans l'étude de la perte d'électricité négative qu'éprouvent beaucoup de corps lorsqu'ils sont éclairés par la lumière ultra-violette, une première difficulté consiste en ce que la surface éclairée change peu à peu d'état. On le constate tout d'abord par la diminution de la déperdition négative.

Mais d'autres propriétés superficielles sont également modifiées, et peuvent être utilisées pour mettre en évidence l'altération que la surface a subie.

Je me suis limité aux surfaces métalliques.

J'ai d'abord étudié, dans quelques cas simples, la variation de la vitesse de déperdition négative. Puis je me suis adressé à la différence apparente de potentiel entre le métal qui subit l'action de la lumière et un autre qui reste dans des conditions fixes, et j'ai pu alors faire une étude plus complète. Enfin, j'ai donné un exemple d'un cas où une propriété chimique de la surface est modifiée par la lumière.

I. — Vitesse de déperdition de l'électricité négative

Dans la perte de l'électricité négative, le rôle de la lumière est double.

Certaines radiations libèrent les charges à la cathode ; ce sont celles dont les longueurs d'onde sont les plus petites. Mais en même temps ces rayons et aussi les autres modifient la surface métallique et font que la déperdition subit des variations.

La lumière sert donc à la fois d'agent cause d'un changement et de réactif pour reconnaître le changement qu'elle a produit. Malgré cette complexité apparente, on peut obtenir plusieurs résultats très nets.

Les variations étudiées sont plus considérables, lorsqu'on emploie, comme radiations actives celles qui sont contenues dans la lumière solaire et qu'on les fait tomber sur les métaux sensibles à ces radiations, tels le zinc, l'aluminium et surtout le zinc amalgamé [1].

En effet, ces rayons constituent l'extrême ultra-violet solaire et aussi ce sont les premiers qui provoquent la déperdition ; leur action est donc peu intense et ne se manifeste que sur quelques métaux. On est en quelque sorte à la limite du phénomène ; un faible changement d'état de la surface produira une variation beaucoup plus grande de la déperdition. Au contraire, en prenant une source de lumière riche en rayons ultra-violets de plus petite longueur d'onde, dont l'action est presque la même sur des surfaces très différentes, on aurait beaucoup moins de netteté dans l'étude de l'altération du métal.

La lumière solaire a de plus, sur les autres sources contenant des radiations actives [arc électrique avec ou sans métal], l'avantage d'être beaucoup plus constante, surtout au point de vue de ces radiations.

Enfin le zinc amalgamé, par suite de la facilité avec laquelle on peut le nettoyer [il suffit de le frotter avec un linge ou un tampon de papier] permet d'obtenir une surface parfaitement neuve, toujours identique à elle-même, comme le montrent les expériences faites en même temps sur plusieurs lampes.

La lame en expérience est fixée à un support articulé qui repose sur une base isolante, placée sur le bord d'une fenêtre ouverte, de façon qu'on puisse utiliser la lumière directe du soleil ou celle du ciel. Le support est lié par un fil métallique à un électroscope à feuilles d'or. Une division est collée sur une paroi de la cage et une lunette vise une des feuilles et la division sur laquelle elle se projette.

On charge l'ensemble négativement, les feuilles divergent. Puis, sous l'action de la décharge, elles se rapprochent. On mesure le temps que l'une d'elles met à passer d'une division à une autre. En prenant l'inverse de ce temps, on a la vitesse de déperdition, à l'instant considéré, pour une certaine chute de potentiel, qui reste toujours la même.

On peut, de cette façon, étudier comment varie cette vitesse, en fonction du temps écoulé depuis l'époque du décapage ou de l'exposition à la lumière.

Supposons d'abord que ces deux époques coïncident, c'est-à-dire qu'on nettoie la surface en pleine lumière et que l'on compte le temps à partir de ce moment.

---

(1) J. Elster et H. Geitel. *Wied. Annalen*, t. XXXVIII, p. 497 ; 1889.
Branly. *Comptes rendus*. t. CXVI, p. 741 ; 1893.

On constate que la vitesse de déperdition diminue régulièrement, et, dans la plupart des cas, en raison inverse du temps écoulé depuis le décapage.

La rapidité de cette diminution est très variable suivant l'intensité des radiations qui produisent la décharge ; en hiver, elle est assez grande pour qu'après quelques minutes on ne puisse plus rien observer ; au contraire, en été, les mesures se poursuivent régulièrement pendant plus d'une heure.

Cependant l'allure du phénomène est toujours la même. Il y a une vitesse de déperdition extrêmement grande au moment même où la surface du métal est créée à l'état neuf; mais une altération se produit aussitôt, qui diminue cette vitesse. Dans beaucoup de cas, la durée du passage d'un potentiel à un autre croît proportionnellement au temps, aussi longtemps que l'on peut faire des mesures, c'est-à-dire tant que la vitesse est assez grande pour qu'on puisse négliger les fuites impossibles à éviter et aussi pour qu'on puisse rapporter à une époque définie la valeur mesurée.

Tout d'abord cette altération n'est pas due au départ même de l'électricité, comme dans le cas de la polarisation voltaïque. Il est facile de s'en assurer : deux lames, dont l'une reste constamment électrisée depuis sa mise à la lumière, et dont l'autre reste neutre, donnent ensuite la même vitesse.

Ce n'est pas non plus une oxydation sous l'influence de l'air.

En effet, *à l'obscurité, cette modification ne se produit pas.*

Une lame de zinc amalgamé est nettoyée, puis mise à l'obscurité. Après un certain temps on la retire et on l'expose à la lumière; *elle se comporte alors comme une lame neuve*, c'est-à-dire que la vitesse se met à décroître à partir du moment où l'on a éclairé la lame, comme pour une surface qu'on aurait nettoyée en pleine lumière.

Bien plus, la lame qui a subi un passage à l'obscurité est plus sensible qu'une neuve, c'est-à-dire qu'après un éclairement de même durée, sa déperdition est plus considérable ; elle peut être jusqu'à huit fois plus grande.

C'est après quelques heures de séjour à l'obscurité que cet accroissement de sensibilité est le plus marqué : il s'atténue ensuite et une lame très vieille n'est plus du tout sensible. Il est vraisemblable que d'autres causes viennent agir, humidité, vapeurs et gaz de l'atmosphère, qui modifient profondément la surface.

Il y a encore un fait plus intéressant. *Cette modification produite par la lumière n'est pas permanente.*

Elle disparaît après un séjour suffisant à l'obscurité, et la lame se comporte ensuite comme si elle n'avait jamais été éclairée

Ainsi deux lames sont mises en même temps à l'obscurité. L'une vient d'être amalgamée, l'autre a été exposée au soleil et a subi la modification due à la lumière. Après quelques heures on les retire et on les met en expérience au même moment ; elles se comportent alors de la même façon ; c'est donc que l'altération de la seconde a disparu pendant ce séjour à l'obscurité [1].

L'action de la lumière n'est donc que momentanée, elle disparaît peu à peu quand l'éclairement cesse et la surface du métal revient à l'état dans lequel elle était antérieurement.

On peut dire, qu'à la lumière, la surface est dans un état contraint qui se maintient par l'énergie des radiations incidentes, et cesse quand celle-ci lui fait défaut.

II. — Différence apparente de potentiel

Lorsque deux métaux différents forment les armatures d'un condensateur et qu'ils sont réunis par une connexion entièrement métallique, il y a un champ électrostatique dans le diélectrique qui les sépare.

---

[1] Le zinc et l'aluminium donnent des résultats semblables, mais moins nets, ce qui peut tenir à la difficulté d'obtenir une surface parfaitement neuve avec ces métaux.

***

C'est le phénomène découvert par Volta. Ce champ varie en raison inverse de la distance des deux lames et correspond ainsi à une différence de potentiel définie, à une chute constante dans le diélectrique.

Cette différence de potentiel dépend de l'état des surfaces des métaux. Il était naturel de rechercher si l'action de la lumière s'y manifestait par une variation sensible.

C'est effectivement ce que j'ai constaté.

Méthode de mesure. — Il est absolument nécessaire de n'éclairer que la lame qu'on étudie, et de préserver complètement de la lumière celle qui sert de comparaison, car on n'observerait que la différence des actions sur les deux surfaces.

Je me suis arrêté à la disposition suivante :

Les deux lames métalliques sont placées dans un appareil de mesure où elles sont à l'obscurité. On mesure leur différence de potentiel. Quand on veut faire une expérience on retire la lame à étudier et on l'expose pendant le temps voulu à la lumière, dans des conditions déterminées. L'éclairement terminé, la lame est reportée dans l'appareil et l'on fait rapidement quelques mesures, car la différence varie alors beaucoup ; on les continue jusqu'à ce que cette variation soit très ralentie. Les valeurs trouvées sont représentées en fonction du temps par une courbe, dont l'ordonnée à l'origine donne la différence apparente de potentiel à la fin de l'éclairement (1).

De cette façon on est sûr que la lame de comparaison n'a pas été éclairée et n'a pas subi de changement. Il faut de plus qu'elle soit ancienne, pour éviter les modifications lentes auxquelles toute lame neuve est exposée.

Toutes les variations observées se reportent alors uniquement sur la lame qui a été éclairée.

Avant toute expérience, le métal, qui a été dressé à la lime, est nettoyé au papier émeri, puis

---

(1) Pour la mesure même de la différence de potentiel, j'ai employé le dispositif aujourd'hui classique [M. Pellat. *Comptes rendus*, t. XC, p. 990 ; 1880. *Annales de chimie et de physique* (5), t. XXIV, p. 5 ; 1881. — Lord Kelvin, British. Assoc. Swansea Meeting, 1880. — *Nature*, t. XXIII, p. 567 ; 1881. — *Phil. Mag.* (5), t. XLVI, p. 82 ; 1898] qui consiste à former un condensateur avec les deux lames métalliques. L'une d'elles est fixe et liée d'une part à un électromètre, d'autre part au sol (conduite de gaz) par l'intermédiaire d'un pont qu'on peut couper. L'autre est mobile et peut être portée à tel potentiel que l'on veut par une dérivation faite sur le circuit d'une pile. Pour une valeur convenable de ce potentiel, on annule le champ électrostatique entre les lames du condensateur, et quand on soulève un peu la lame mobile, après avoir isolé l'autre du sol, comme il n'y a plus de charges en présence, l'état électrique de la lame fixe ne varie pas et l'aiguille de l'électromètre reste au zéro.

Cette valeur du potentiel de la lame mobile, qu'on obtient par quelques tâtonnements, est égale et de signe contraire à la différence cherchée.

Comme pile, j'ai pris un accumulateur, fermé sur un circuit d'assez grande résistance, formé de deux parties, l'une fixe, de 2 000 ohms, l'autre variable. C'est entre les extrémités de celle-ci qu'on obtient la différence de potentiel qui compense la différence naturelle qu'on veut mesurer. La force électromotrice de l'accumulateur était évaluée à l'aide d'un voltmètre Carpentier de précision, ce qui était bien suffisant, car en définitive je ne mesurais que les variations d'une différence de potentiel, et non celle-ci en valeur absolue. L'électromètre, qui ne sert que comme électroscope, était à quadrants. L'amortissement ne doit pas être trop faible pour que les mesures se succèdent rapidement, ni trop grand, pour avoir des déviations nettes.

L'appareil, très simple quand on opère à l'air libre, comprend un support isolant qui porte la lame fixe. L'autre est vissée à l'extrémité d'un levier horizontal, qui, en tournant autour d'un axe également horizontal, permet de l'écarter un peu de la première. Deux butoirs déterminent les deux positions fixes où les lames sont proches ou éloignées. Le tout est protégé par une boîte de carton revêtue intérieurement de feuilles d'étain, pour éviter toute influence gênante. On enlève la boîte pour retirer la lame qu'on veut éclairer et on la remet rapidement après avoir replacé la lame.

Quand on veut opérer en présence d'un gaz autre que l'air, il faut, dans le même espace fermé, faire exécuter à la lame mobile le mouvement de faible amplitude nécessaire à la mesure de la différence de potentiel, et un autre, plus considérable, pour pouvoir l'éclairer seule. J'ai réalisé cette double condition en reliant la lame à un axe horizontal qui porte une pièce de fer doux ; celle-ci suit les mouvements d'un aimant extérieur à la boîte qui renferme l'ensemble. Quand la pièce intérieure est bien équilibrée elle obéit parfaitement à l'aimant.

Lorsque la lame mobile est très éloignée de l'autre, elle est verticale ; en face d'elle, la paroi de la boîte est percée d'une ouverture, fermée par une glace mastiquée sur un rebord rodé, par laquelle passe un faisceau lumineux qui tombe normalement sur la lame.

essuyé avec soin pour enlever les poussières métalliques. Quelquefois, après ce traitement, la surface a été lavée à l'alcool. D'autres lames, préparées par électrolyse, ont été simplement lavées à l'eau et à l'alcool. Une lame de plomb a été brunie en la frottant fortement avec un bâton de verre à bout arrondi.

Dans tous les cas, il faut attendre que la variation de la différence de potentiel, en général négative, qui suit ce traitement mécanique, se soit beaucoup ralentie, avant de commencer une expérience sur l'action de la lumière. Sinon les deux variations se superposeraient et celle qui est due à la lumière serait beaucoup moins nette.

La lumière a toujours été celle du soleil ou de l'arc électrique.

Les autres sources ne sont pas assez intenses pour donner une variation bien définie.

Résultats. — En général, le métal éclairé devient plus négatif, c'est-à-dire que, dans la série de Volta, il se rapproche de l'or et s'éloigne du zinc. C'est ce qui se produit avec l'aluminium, le zinc, le zinc amalgamé, le cuivre, le laiton, le plomb, l'étain, l'antimoine, le bismuth, le magnésium ; avec le nickel, la variation est faible ; elle est insensible avec le fer, l'argent, l'or. Enfin le platine se comporte en sens inverse des autres métaux ; il devient plus positif sous l'action de la lumière.

La variation de la différence de potentiel s'élève jusqu'à 0,10 volt et même 0,14 volt.

Dans tous les cas, *cette modification n'est pas permanente ; elle disparaît graduellement à l'obscurité, et le métal revient peu à peu à son état primitif, la différence de potentiel reprenant la valeur antérieure à l'éclairement.*

La vitesse de ce retour à l'état primitif varie naturellement suivant les différents métaux. Elle est grande avec l'aluminium, l'étain, le bismuth, le magnésium, faible avec le zinc et le platine.

J'ai rencontré un échantillon de métal qui m'a donné des résultats assez constants pour que je puisse l'employer à une étude plus complète du phénomène. C'était un miroir d'héliostat, en métal des miroirs, bien plan et bien poli.

Je citerai quelques expériences faites tout d'abord avec cette lame, pour montrer la fixité des résultats et la confiance qu'on peut leur accorder.

Cette lame est toujours comparée à une même lame de laiton ; elle est négative par rapport au laiton.

Dans une première expérience, la différence de potentiel part d'une valeur — 0,270 volt, assez mal définie, car la lame a été nettoyée peu de temps avant. Dix minutes d'éclairement au soleil la font varier jusqu'à — 0,330 volt ; puis à l'obscurité, il y a retour vers la valeur antérieure ; comme elle n'était pas fixe, elle est dépassée et l'on trouve, le lendemain, — 0,208 volt.

De cette valeur, on s'élève à 0,328 volt après 20 minutes d'exposition au soleil et à la lumière du ciel. Puis retour positif, et le lendemain on retrouve — 0,199 volt.

27 minutes d'éclairement à la lumière diffusée par les nuages donnent — 0,318 volt, valeur un peu plus faible que les précédentes.

Puis 17 minutes de lumière du ciel donnent — 0,333 volt. Enfin une dernière expérience dure 54 minutes, le ciel étant encore nuageux ; la valeur trouvée à la fin de l'éclairement est — 0,336 volt. Mais cette fois, le retour vers la valeur antérieure a lieu un peu différemment. Au lieu que la courbe représentative fasse un angle assez aigu avec l'axe des potentiels, elle lui est d'abord presque normale, puis elle s'infléchit et devient ensuite parallèle aux courbes des expériences précédentes.

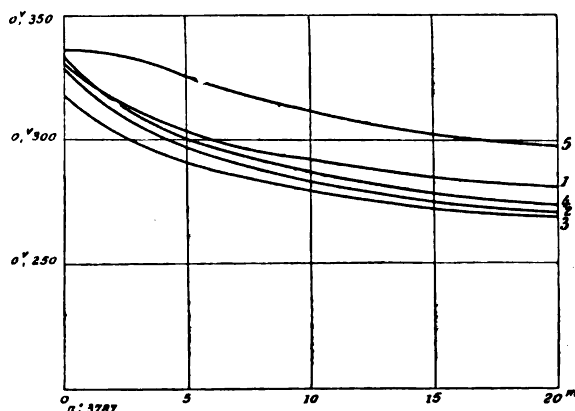


Fig. 1.

L'ensemble de ces cinq expériences est représenté par le graphique ci-joint (fig. 1) qui

résume les variations pendant les vingt premières minutes de retour à l'obscurité. On voit que ces courbes ont toutes sensiblement la même ordonnée à l'origine, sauf peut-être la courbe 3, qui s'écarte d'ailleurs très peu des autres.

En résumé, la différence de potentiel

après	10	minutes d'exposition au soleil vaut			— 0 volt 330
»	20	»	«	» et aux nuages	— 0 » 328
»	27	»	»	aux nuages	— 0 » 318
»	17	»	»	»	— 0 » 333
»	54	»	»	»	— 0 » 336

tandis qu'après un long séjour de la lame à l'obscurité, la différence vaut environ — 0,200 volt.

Les faibles écarts qui existent entre ces valeurs et qui peuvent être dues à des causes accessoires, (variations propres de la lame étudiée ou de la lame témoin, variations de température), doivent être considérés comme négligeables, et permettent d'affirmer qu'il y a un potentiel défini à la lumière, comme il y en a un à l'obscurité, leur différence étant à peu près 0,130 volt.

Ainsi, *quand le métal est éclairé, il y a une nouvelle valeur de la différence de potentiel, sensiblement indépendante de la durée d'éclairement, si celle-ci est supérieure à quelques minutes, la variation étant négative.*

Il est facile d'étudier la période de début. On reconnaît que l'action de la lumière n'est pas instantanée, mais qu'elle s'établit avec une vitesse d'abord considérable, qui se ralentit ensuite, la valeur limite étant atteinte assez vite.

Ainsi, la différence de potentiel, après séjour à l'obscurité,

	vaut		— 0 volt 200
après	15 secondes d'éclairement		— 0 » 252
»	30 »	»	— 0 » 273
»	2 minutes	»	— 0 » 316
»	10 minutes et plus	»	— 0 » 330

Influence de la longueur d'onde des radiations. — Un point particulièrement intéressant est l'action des différentes radiations.

Ne pouvant avoir avec un prisme ou un réseau un faisceau homogène assez intense pour éclairer suffisamment une surface de 40 cm² à 50 cm² au moins, j'ai employé des verres colorés, placés sur le trajet de la lumière solaire.

On constate tout d'abord que les rayons rouges et les rayons jaunes n'ont qu'une action très faible et par suite un peu douteuse. Les rayons verts et bleus donnent une variation égale à environ la moitié de la variation complète. Enfin les rayons ultra-violets du spectre solaire semblent n'avoir qu'une action faible, car l'interposition d'une lame de verre incolore, qui les absorbe, ne diminue que peu la variation totale.

En éclairant ce même miroir avec l'arc électrique, on obtient une variation nulle; mais en interposant une lame de verre entre l'arc et le miroir, la variation est alors notable et de même sens qu'avec la lumière du soleil. Or le verre a absorbé les rayons de très petite longueur d'onde; c'est donc que ceux-ci agissent en sens inverse des autres, et que, s'ils sont ensemble, il y a neutralisation.

Avec le zinc cet effet est encore plus net. Toutes les fois que le soleil agit, la variation est négative. Elle l'est encore, mais plus faiblement, si les rayons venant de l'arc électrique traversent une lame de verre, tandis qu'elle est positive si aucun milieu n'est interposé. A travers une lame de quartz les rayons de l'arc (sans métal) sont affaiblis, mais agissent toujours dans le sens positif. En introduisant du zinc ou de l'aluminium dans l'arc, la richesse de la lumière en rayons très réfrangibles est telle que l'absorption qu'ils subissent à travers une lame de quartz ou de fluorine est insuffisante pour diminuer leur action qui reste positive et très considérable (0,140 volt), malgré une faible durée d'éclairement (de une à deux minutes). Cette action est d'ailleurs la même

que les rayons proviennent de l'aluminium ou du zinc; il n'y a donc pas d'action particulière exercée sur un métal par les radiations qu'il émet.

En résumé, pour le zinc comme pour le métal des miroirs toutes les radiations n'agissent pas de la même manière. Les rayons peu réfrangibles (rouges, jaunes) ont une action très faible; elle croît pour les rayons verts, bleus, violets; passe par un maximum, puis décroît. Il y a une certaine *radiation neutre*, au delà de laquelle l'action reparaît, mais en sens inverse, la variation étant positive.

En d'autres termes, pour ces deux métaux, il y a une *longueur d'onde d'inversion*, qui sépare le spectre en deux parties, dont les actions sont de sens contraire.

Il est assez difficile de déterminer avec précision cette longueur d'onde. Il semble néanmoins que pour le zinc, elle se trouve un peu avant la fin du spectre solaire (0,295 μ), et pour le métal des miroirs un peu au delà.

Enfin ce phénomène remarquable de l'inversion n'est pas général. Certains métaux, cuivre, aluminium, magnésium, ne le présentent pas, au moins dans les limites où j'ai opéré.

Influence du milieu. — J'ai remplacé l'air par l'oxygène, l'anhydride carbonique, l'hydrogène.

Avec ce dernier je me suis efforcé d'enlever toute trace d'oxygène libre. Enfin j'ai fait varier la pression et l'ai diminuée jusqu'à un centimètre de mercure.

Ces conditions ne changent rien au phénomène. La substitution d'un milieu à un autre fait varier la différence de potentiel des deux lames (1), puis sur la nouvelle valeur, l'éclairement produit toujours la même variation.

Résumé. — En résumé, la différence apparente de potentiel entre deux métaux est modifiée, lorsque l'un d'eux seul est éclairé.

Sauf le platine, le métal éclairé par la lumière solaire devient plus négatif. La variation est indépendante de la nature du gaz et de la pression. Elle dépend peu de l'intensité de la lumière si celle-ci est considérable; l'incidence n'a également pas d'effet.

Cette variation n'est pas instantanée. Elle croît d'abord très vite avec la durée d'éclairement, puis tend vers une valeur limite. Cette valeur limite dépend de la composition de la lumière employée.

Pour certains métaux, toutes les radiations n'agissent pas dans le même sens; les plus réfrangibles produisent une variation positive, et les autres une variation négative. Il y a inversion.

Cet état du métal subsiste tant que l'éclairement dure, mais il n'est pas permanent. Après retour à l'obscurité, le métal revient à son état antérieur avec une rapidité variable, mais plus faible que pour la transformation inverse.

Il y a deux états définis, l'un à l'obscurité, l'autre à la lumière (d'une composition donnée), stables l'un et l'autre dans leurs conditions respectives. Quand ces conditions varient, l'état du métal se déplace vers celui qui correspond aux conditions nouvelles.

III. — Quelques autres propriétés superficielles

Propriétés chimiques. — Une lame de zinc fraîchement amalgamée est exposée au soleil derrière un écran percé de trous (2). Après quelques minutes, on la retire. Il n'y a alors aucune différence d'aspect d'un point à l'autre de la surface; tous paraissent également brillants. Mais en l'exposant à la vapeur d'iode, l'attaque de la surface n'est pas la même sur les régions insolées et

(1) C'est ainsi que dans le cas où les métaux en présence sont le laiton et le métal des miroirs, la substitution de l'hydrogène à l'oxygène fait passer la différence de potentiel de 0,020 volt à 0,095 volt, soit une variation de 0,075 volt; le laiton étant positif.

(2) Il vaut mieux appliquer la lame de zinc contre une plaque photographique entièrement noire, dont on a enlevé la gélatine par endroits. De cette façon, une action possible de l'air est la même partout.

sur les autres. Après quelques instants, l'image latente s'est développée et le dessin de l'écran apparaît.

A la différence d'éclat il est facile de voir que ce sont les parties éclairées qui ont été les moins attaquées.

Il y a donc une différence pour l'aptitude à la combinaison avec l'iode entre les points qui ont été éclairés et ceux qui ne l'ont pas été (¹).

Propriétés optiques. — J'ai voulu voir si la modification de la surface métallique, mise en évidence et étudiée par plusieurs méthodes, pourrait aussi l'être par l'étude des propriétés optiques.

Je n'ai constaté aucune variation de la différence de phase introduite par la réflexion métallique entre les deux composantes d'un rayon lumineux polarisé, lorsque la lame passait de l'obscurité à l'éclairement très grand produit par un faisceau de lumière solaire intense.

Cette méthode est donc impropre à montrer la modification causée par la lumière (²).

Analogies. — Il y a un parallélisme remarquable entre les deux manifestations que j'ai surtout étudiées, la sensibilité au point de vue de la déperdition et la différence apparente de potentiel, toutes deux ayant une valeur déterminée à l'obscurité et une autre à la lumière.

D'autres phénomènes produits par les rayons lumineux présentent aussi une allure semblable.

Une solution alcoolique d'azotate d'urane reste limpide à l'obscurité. A la lumière elle se réduit et dépose du protoxyde. Remise à l'obscurité, elle s'oxyde et revient à son état primitif.

Une dissolution de pourpre rétinien, rouge à l'obscurité, se décolore à la lumière et se récolore si on la replace à l'obscurité.

Une plaque photographique, impressionnée, garde assez longtemps cette impression, mais non indéfiniment. Si on la maintient à l'obscurité, l'image latente disparaît peu à peu, et, après un temps assez long, variable suivant la nature de la couche sensible, la plaque ne peut plus être développée. Elle a repris ses propriétés antérieures, et l'on peut s'en servir comme d'une plaque neuve (³).

La sensibilité à la combustion d'une dissolution d'acide oxalique, sous l'action des rayons solaires, s'accroît par une exposition préalable à la lumière, et cet accroissement disparaît ensuite après un séjour de plusieurs jours à l'obscurité (⁴).

L'inversion remarquable que j'ai constatée dans deux cas bien déterminés, (zinc et métal des miroirs) se rencontre aussi dans d'autres actions de la lumière.

Depuis longtemps, J. Herschell et Claudet (⁵) ont montré que les rayons jaunes et rouges détruisent l'action des rayons plus réfrangibles sur la plaque daguerrienne, qu'ils ramènent lentement à l'état primitif.

Les radiations violettes oxydent le gaïac blanc et lui font prendre une coloration bleue. Cette coloration disparaît, et le gaïac oxydé se réduit si on l'expose aux rayons rouges et jaunes, lesquels n'agissent pas sur le gaïac blanc.

(¹) Dans un travail récent, M. J. Waterhouse [*Proceedings of the Royal Society of London*, vol. LXVI, p. 490 ; 1900], a étudié une action semblable sur des lames d'argent et de quelques autres métaux. Il attribue cette formation d'image aux gaz condensés antérieurement par la surface, et surtout à l'oxygène.

(²) Ce résultat négatif est à rapprocher de celui qui a été observé par M. Lippmann [*Journal de physique*, 1re série, t. X, p. 202 ; 1881], au sujet des lames métalliques qui subissent la polarisation voltaïque, bien qu'il y ait alors une variation très considérable des propriétés électriques de la surface.

On sait que les propriétés optiques dépendent d'une profondeur assez grande du métal, tandis qu'il est vraisemblable que les propriétés électriques n'intéressent qu'une couche beaucoup plus mince.

La modification produite par la lumière est donc entièrement superficielle et n'affecte pas assez les couches profondes pour qu'elle puisse se manifester par un changement appréciable de l'état de polarisation du rayon lumineux réfléchi.

(³) Noel. *Comptes rendus*, t. XCII, p. 1108 ; 1881.

(⁴) Duclaux. *Annales de l'Institut Pasteur*, t. X, p. 129; 1896.

(⁵) Claudet. *Annales de chimie et de physique* (3), t. XXII, p. 332 ; 1848.

Enfin les radiations très peu réfrangibles provoquent le départ de l'énergie qui a été accumulée par les rayons violets et ultra-violets dans la phosphorescence, c'est-à-dire qu'ils détruisent l'action de ces rayons[1]

Le phénomène que j'ai étudié rentre donc bien dans l'ordre des phénomènes produits par la lumière.

IV. — Conclusions

En définitive la surface d'un métal éclairé est dans un état différent de celui qui existe à l'obscurité, et variable suivant la nature de la lumière.

L'indépendance de l'effet produit par l'éclairement vis-à-vis du gaz qui entoure le métal, écarte l'idée d'une action du milieu, de même que le retour à l'état primitif exclut l'hypothèse d'un composé persistant formé sous l'influence de la lumière.

Il est vraisemblable que tout se passe dans la couche de gaz que toute surface métallique condense énergiquement, et qui subsiste malgré le changement du gaz ambiant et l'emploi d'un vide poussé très loin.

A l'obscurité, il y a un certain équilibre entre le métal, le gaz condensé à sa surface, (probablement l'oxygène, puisque les lames ont toujours été préparées dans l'air) et peut être aussi quelque composé oxygéné du métal. Mais l'existence de ce composé ne s'impose pas et l'on conçoit parfaitement que les propriétés superficielles dépendent de l'équilibre qui existe entre le métal et le gaz seuls. Sous l'action de la lumière, cet équilibre se déplace dans un certain sens, et les propriétés de la surface du métal sont modifiées. Pour quelques métaux, certaines radiations déplacent l'équilibre en sens contraire des autres, ce qui se manifeste par l'inversion observée.

H. Buisson

REVUE INDUSTRIELLE ET SCIENTIFIQUE

TRACTION

Le chemin de fer suspendu de Barmen-Elberfeld-Vohwinkel.

Nous donnons ci-après la description de quelques dispositifs intéressants que nous avions dû négliger, faute de renseignements suffisants, dans un précédent article [2].

I. *Recherche des défauts d'isolement.* — La figure 1 représente une portion de voie avec l'équipement qui permet de localiser en peu de temps une dérivation à la terre. On a séparé les deux câbles C et D qui alimentent les rails de contact au départ même du centre de distribution. Chaque station possède un tableau tel que celui de la figure 2 ; à l'usine le tableau est plus complet comme on le voit en figure 3, parce qu'il doit desservir deux tronçons : Westend-Jardin Zoologique et Westend-Kluse. Les lettres ont, sur ces deux tableaux, la même signification que sur la figure 1.

J sont des interruptions qui existent à chaque station. Pour assurer la continuité électrique, les extrémités des sections sont réunies par des câbles avec interrupteurs *a* (fig. 1, 2 et 3). Lorsqu'ils sont fermés, le conducteur ne présente plus aucune solution de continuité. Les indicateurs de terre I T forment pont entre les rails de contact, de part et d'autre de J ; les interrupteurs *b* peuvent remplir le même office ; cet artifice sert à alimenter l'un des rails par l'autre.

Tant que les fils de travail sont au même potentiel, les aiguilles des indicateurs restent au zéro. Imaginons qu'une dérivation se produise en *x* entre les stations II et III (fig. 1 à 3), sur le rail I. Le disjoncteur automatique correspondant C s'ou-

(1) Seebeck, E. Becquerel. *Comptes rendus*, t. XIV, p. 901 ; 1842.

(2) *L'Éclairage Électrique*, t. XXVIII, p. 54, 13 juillet 1901.

vre et le courant passe du rail II au rail I par les indicateurs de terre, dont les aiguilles sont écartées de leur position d'équilibre. A l'extrémité de leur course, elles actionnent une sonnerie qui éveille l'attention des chefs de stations. La position même de l'aiguille leur indique celui des interrupteurs a (a_1 ou a_2) qu'ils doivent ouvrir pour localiser le défaut ; à cet effet, les interrupteurs a et les indicateurs de terre sont disposés sur les tableaux de telle sorte que les aiguilles s'inclinent vers les interrupteurs qu'ils convient de manœuvrer, a_1 dans l'exemple choisi. Cette opération ramène toutes les aiguilles à leur situation primitive, sauf celles des stations II et III qui comprennent entre elles la dérivation à la terre. Une fois l'usine centrale pré-

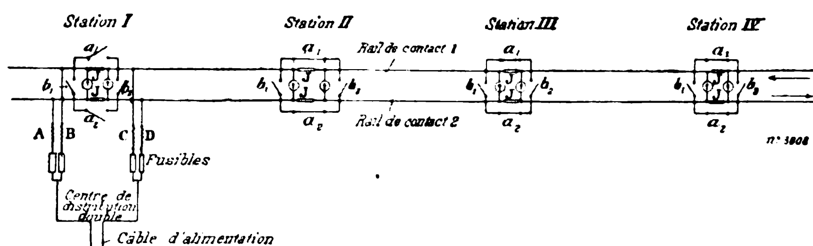


Fig. 1.
IT, Indicateurs de terre. — a_1, a_2, Interrupteurs. — b_1, b_2, Interrupteurs. — A, B, C, D, Disjoncteurs automatiques.

venue sur la position de la fuite elle donne l'ordre de refermer tous les interrupteurs a, hormis ceux des stations II et III, après quoi elle ferme elle-même le disjoncteur C. Par celui-ci, le rail I est alimenté jusqu'à la station II. Pour l'alimenter de la station III au point terminus, on ferme l'interrupteur b_2 de la station III seulement.

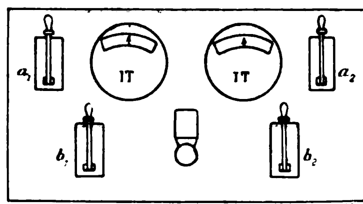


Fig. 2. — Tableau de station.
IT. Indicateurs de terre. — a_1, a_2, Interrupteurs. b_1, b_2, Interrupteurs.

Un artifice de montage permet encore ici d'éviter toute fausse manœuvre de la part des chefs de stations ; il consiste à placer les interrupteurs b sous les indicateurs de terre de telle sorte qu'on doit toujours fermer celui qui se trouve au-dessous de l'aiguille qui revient à sa position d'équilibre quand on ouvre a.

Il peut aussi survenir un accident aux câbles d'alimentation, ou encore aux disjoncteurs automatiques. En se reportant à la figure 1, on voit que le tableau de la station I permet, en fermant a_1 et a_2, d'envoyer le courant de C et D ou A et B dans les deux directions.

II. *Conducteurs de retour.* — C'est toute la charpente métallique qui sert de conducteur de retour. Le courant arrive d'abord au rail par les châssis et les roues. Le rail est relié aux poutres de rive par deux connecteurs en cuivre de

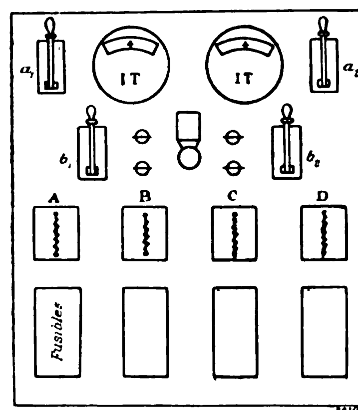


Fig. 3. — Tableau de l'usine.
A, B, C, D. Disjoncteurs automatiques. — J, Interrupteurs.

115 mm² de section chacun. Du viaduc à l'usine on emploie des câbles. Remarquons qu'il n'est pas nécessaire de protéger les conducteurs contre les décharges atmosphériques, puisqu'ils sont complètement enveloppés par une construction en fer en communication avec le sol.

III. *Installations téléphoniques.* — Chaque station est réunie à ses deux voisines par un téléphone local qui comprend une sonnerie e

un récepteur seulement pour les deux directions. Un deuxième réseau, distinct du premier, est destiné aux communications lointaines des gares entre elles, ou avec le bureau central, ou encore avec la station génératrice. L'appareillage correspondant à chaque poste se compose de deux sonneries et un seul récepteur. Tous les postes sont en série, de sorte qu'un appel partant d'une station est entendu de toutes les autres. L'intéressé désigne alors la station avec laquelle il veut correspondre, et toutes les autres remettent leur récepteur en place. Un ordre se transmet donc avec une grande célérité.

Les voitures elles-mêmes sont pourvues d'un appareil téléphonique. Supposons qu'un convoi reste en détresse entre deux stations ; le conducteur, au moyen d'une longue perche de bambou, accroche les fils de son téléphone au réseau qui réunit ces deux stations, et, par elles, se met en communication avec le bureau central ou l'usine génératrice pour demander du secours. Tous les conducteurs en fils nus sont disposés au-dessous de la charpente métallique.

T. Pausert.

TÉLÉGRAPHIE

Sur la théorie des cohéreurs, par **K.-E. Guthe** et **A. Trowbridge**. *Phys. Review*, t. XI, n° 1.

Malgré le nombre considérable de recherches sur les cohéreurs, on ne possède pas encore une explication satisfaisante de leur fonctionnement, c'est-à-dire une explication du phénomène de l'abaissement de la résistance électrique d'un contact imparfait par suite de l'influence des ondes électromagnétiques cheminant dans le milieu ambiant. Parmi les théories les plus acceptables nous citerons celles de Branly, de Lodge et d'Auerbach. Disons un mot du point de départ de chacune de ces théories en nous permettant de renvoyer le lecteur, pour plus de détails, à l'excellent article de M. A. Turpain, intitulé : *Essai critique sur la théorie de la radioconduction*, paru dans ce journal le 13 avril 1901.

M. Branly suppose que c'est le milieu qui sépare les particules conductrices qui constituent le cohéreur qui est modifié par suite de la présence des ondes électromagnétiques, et cette modification a pour conséquence la conductibilité de l'ensemble. M. Lodge [1] se base, pour expliquer le phénomène en question, sur des considérations d'ordre électrostatique : il suppose les particules conductrices du cohéreur séparées par des couches minces (d'oxyde du métal correspondant, par exemple) qui sont soumises à des pressions énormes provenant de l'attraction électrostatique ; dans ces circonstances les surfaces des particules peuvent être « soudées », surtout si le stimulant électrique agit simultanément comme un flux, en réduisant la couche infinitésimale d'oxyde ou d'autre composé qu'on est obligé de faire intervenir. M. Auerbach [2] admet une théorie mécanique ; d'après lui, l'abaissement de la résistance provient de vibrations périodiques de nature mécanique : « il se produit dans le cohéreur une perturbation telle, que chaque particule est déplacée de son ancienne position d'équilibre et vient en contact plus intime avec sa voisine; elle ne revient à sa position d'équilibre qu'après que la vibration mécanique, qui produisait son déplacement, a cessé ». Mais à l'époque actuelle, nous ne possédons pas assez d'expériences pour que nous puissions nous prononcer sur chacune de ces trois théories. Celle de M. Branly ne peut guère subir un « essai expérimental crucial » (*experimentum crucis*). En ce qui concerne la théorie proposée par Auerbach qui semble assez probable avec les fortes vibrations mécaniques qu'il employait, on ne peut pas conclure que, puisque l'effet produit au moyen de vibrations mécaniques (abaissement de résistance) est le même que celui produit au moyen de l'électricité, les causes doivent être identiques (voir aussi Drude, *Wied. Ann.*, t. LXV, p. 486; 1898; et Aschkinass, *ibid.*, t. LXVI, p. 306; 1898. Quant à la théorie de Lodge, on en a donné un nombre assez considérable de démonstrations expérimentales; citons à titre d'exemple celles de Arons (*Wied. Ann.*, t. LXV, p. 567; 1898), de Tomassina (*C. R.*, t. CXXVIII, p. 1092; 1899; t. CXXVII, p. 10144, 1898; t. CXXIX, p. 40; 1899) et de Sundorph (*Wied. Ann.*, t. LXVIII, p. 5949; 1899); mais les objections qu'on a faites à la théorie d'Auerbach s'appliquent également à la théorie de Lodge. On peut, évidemment, conce-

(1) Branly, *Comptes Rendus*, t. CXI, p. 785 (1890); t. CXXV, p. 939 et 1163 (1897).

(1) Lodge, *Phil. mag.*, t. XXXVII, p. 94 (1894), et *Electrician*, t. XL, p. 87 (1897).

(2) Auerbach, *Wied. Ann.*, t. LXIV, p. 611 (1898).

****

voir que le résultat du passage des étincelles entre les particules qui sont voisines soit la fusion des couches superficielles de ces particules amenant ainsi un abaissement de résistance; mais si cet abaissement de résistance est véritablement dû à ce flux d'étincelles (*sparking*) nous ne pouvons espérer qu'à une conduite irrégulière du cohéreur. Voici d'ailleurs en quels termes Aschkinass discute les résultats d'Arons et les siens propres : « Un abaissement de la résistance a toujours lieu quand l'excitation est faible, c'est-à-dire quand il n'y a pas de « sparking », ni de fusion, ni de mouvements mécaniques aux contacts. Avec une excitation plus forte — qui amène une production d'étincelles, etc. — on n'obtient, au contraire, que des phénomènes irréguliers et quelquefois même de sens opposés. » Il faut donc, pour pouvoir étudier le phénomène en question, éviter ce flux d'étincelles (sparking). Ce point a été établi par des expériences quantitatives effectuées par M. A. Trowbridge (*Amer Journ. of Sciences*, sept. 1899). — Les expériences que MM. Guthe et Trowbridge décrivent dans le mémoire que nous voulons analyser sont encore plus précises que ces dernières et éliminent toute perturbation possible; aussi les résultats sont-ils très concordants.

Nous allons donner en peu de mots le principe de la méthode employée.

Le courant produisant l'abaissement de résistance du cohéreur (à billes d'acier) est produit par une force électromotrice assez intense B (fig. 1), qu'on peut faire varier à volonté et qui est en série avec une résistance variable R et avec le cohéreur. La résistance du cohéreur est mesurée en observant simultanément le courant à travers ce dernier et la différence de potentiel entre ses deux extrémités. Pour opérer toujours dans les mêmes conditions, on s'arrange de manière à effectuer les mesures immédiatement après la fermeture du circuit : un pendule assure presque synchroniquement la fermeture et l'ouverture de quatre *clefs* (I, II, III, IV). Avant la mise en mouvement du pendule les clefs touchent les contacts inférieurs. Après une oscillation simple du pendule les clefs touchent les contacts supérieurs. Voyons alors ce qui se passe à ce moment. La clef I étant la première actionnée, le courant passe à travers le cohéreur et les condensateurs C_1, C_2 sont chargés; les clefs II et III étant ensuite actionnées à leur tour, les deux condensateurs se déchargent à travers les galvanomètres G_1, G_2 donnant ainsi la différence de potentiel aux deux bouts du cohéreur et le courant traversant le circuit comprenant ce dernier. La clef IV

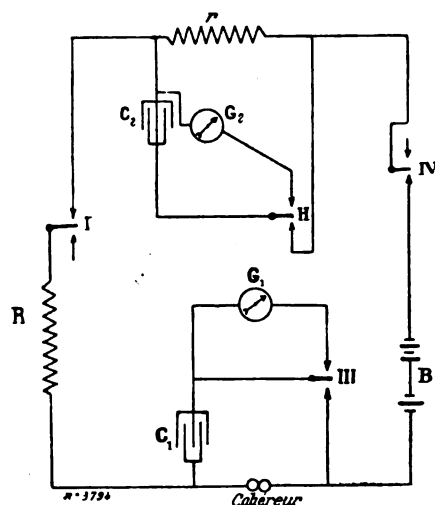


Fig. 1.

ouvre enfin le circuit. Le mode de réglage du cohéreur est suffisamment visible sur la figure 2. On s'assure que le contact existe bien entre les

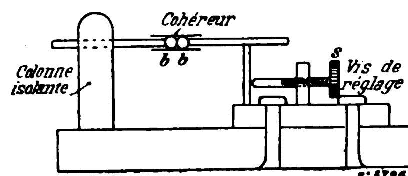


Fig. 2.

deux billes au moyen d'un circuit auxiliaire comprenant une pile de faible force électromotrice et un galvanomètre calibré qui donne ainsi la résistance maximum du cohéreur. On règle ensuite les deux résistances R et r et après avoir mis le pendule en mouvement on note la déviation des galvanomètre, G_1, G_2. On a fait ainsi une série de 10 à 15 expériences analogues en ayant soin de ramener le contact des billes à sa valeur primitive (accusée par une mesure de résistance).

On fait en dernier lieu varier la résistance $R + r$, et on en choisit des valeurs telles que le courant à travers le cohéreur soit compris entre 0,002 et 0,7 ampère.

Les résultats obtenus sont réunis dans les les tableaux ci-dessous, où i désigne le courant

à travers le cohéreur, mesuré au moyen du galvanomètre G_2; p est la différence du potentiel entre les extrémités du cohéreur, mesurée au moyen du galvanomètre G_1 et ρ la résistance du cohéreur calculée au moyen de p et i.

A. Cohéreurs a contact unique

1. *Acier* (Diamètre des billes = 4,75 mm.)

i	p	ρ	i	p	ρ
Voltage appliqué = 6,5 volts.					
0,0027	0,0457	16,59	0,0521	0,234	4,48
0,0054	0,0894	16,62	0,124	0,229	1,84
0,0106	0,174	16,40	0,254	0,237	0,94
0,0273	0,208	7,63	0,492	0,238	0,47
Voltage = 14,0 volts.					
0,0026	0,0218	8,42	0,124	0,224	1,84
0,0064	0,0451	7,10	0,212	0,229	1,08
0,0127	0,0904	7,12	0,309	0,228	0,74
0,0256	0,160	7,07	0,604	0,225	0,39
0,0621	0,211	3,40			
Voltage = 60 volts.					
0,0051	0,0103	2,01	0,0989	0,141	1,42
0,0124	0,0218	1,77	0,247	0,196	0,78
0,0247	0,0458	1,94	0,494	0,232	0,47
0,0494	0,0832	1,79	0,617	0,226	0,37
Voltage = 220 volts.					
0,0056	0,0021	0,38	0,221	0,0873	0,39
0,0223	0,0114	0,51	0,313	0,144	0,45
0,0551	0,0255	0,46	0,438	0,224	0,51
0,0749	0,0374	0,50	0,722	0,218	0,30
0,111	0,0534	0,48			

2, *Cuivre* (billes d'acier recouvertes d'une couche de Cu).
Diamètre des billes = 9,5 mm. *Voltage* = 50 *volts.*

i	p	ρ	i	p	ρ
0,0101	0,004	0,41	0,512	0,171	0,33
0,051	0,041	0,80	0,819	0,174	0,21
0,102	0,081	0,78	1,252	0,171	0,15
0,256	0,154	0,60			

3. *Plomb* (Diamètre des billes = 3,0 mm).

i	p	ρ	i	p	ρ
Voltage = 14,2 volts.					
0,012	0,020	1,67	0,118	0,120	1,06
0,024	0,040	1,67	0,291	0,121	0,42
0,059	0,081	1,53	0,573	0,123	0,22
Voltage = 39,5 volts.					
0,009	0,009	1,00	0,120	0,107	0,90
0,018	0,020	1,11	0,182	0,131	0,72
0,036	0,036	1,00	0,361	0,129	0,36
0,073	0,069	0,94	0,591	0,131	0,22
0,092	0,087	0,94			
Voltage = 220 volts.					
0,021	0,024	1,07	0,317	0,182	0,60
0,051	0,032	0,58	0,442	0,189	0,43
0,102	0,072	0,64	0,727	0,197	0,29
0,209	0,112	0,51			

4. *Bronze phosphoré* (Diamètre des billes = 3,2 mm).

i	p	ρ	i	p	ρ
Voltage = 220 volts.					
0,022	0,024	1,07	0,317	0,182	0,60
055	032	58	442	189	0,43
110	072	64	727	197	0,29
222	112	51			

De la simple inspection de ces tableaux il résulte que pour des valeurs croissantes de i, p tend asymptotiquement vers une valeur maximum finie, qui varie d'un corps à l'autre, mais qui est constante pour un même corps et ne varie pas avec la différence de potentiel appliquée entre les extrémités du cohéreur.

L'équation différentielle la plus simple pour exprimer que p tend vers un maximum fini P est la suivante :

$$dp = k(P - p)di$$

où k est une constante dont les dimensions doivent être inverses de celles d'un courant.

En intégrant cette équation différentielle on obtient :

$$p = P(1 - e^{-ki}$$

qui vérifie la plupart des résultats obtenus par l'auteur.

L'auteur se demande si on ne pourrait pas expliquer le fonctionnement d'un cohéreur en supposant qu'il existe sur la surface des métaux en contact imparfait une couche condensée mauvaise conductrice — peut-être de la vapeur d'eau — qui fait que la résistance est très élevée avant le passage du courant. Pour plus de simplicité, considérons deux conducteurs sphériques en contact peu serré. Dès qu'on établit une différence de potentel entre ces conducteurs, les couches condensées se trouvent, par suite de l'attraction électrostatique, attirée les unes vers les autres et leur épaisseur sera, sur une aire circulaire A, de l'ordre des dimensions molécu-

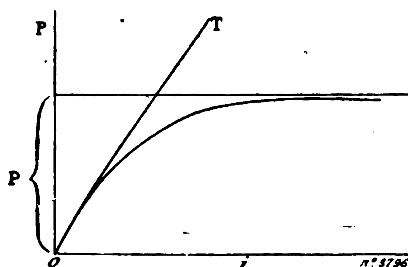


Fig. 3.

laires. La tangente OT (fig. 3) représente la résistance de cette pellicule A au moment où on établit un certain voltage entre les conducteurs sphériques. Quant il y a un courant entre les deux conducteurs, des ions de l'électrode positive traversent la couche donnant ainsi naissance à un contact métallique et diminuant par suite la résistance. Après la cessation du courant les billes se trouvent en contact intime et sont serrées par suite de la cohésion. La résistance ne s'accroît donc pas immédiatement après la cessation du courant. On a, en outre, trouvé que cette résistance n'est pas affectée par un courant *plus faible* que celui qui a produit son abaissement. Avec un courant *plus fort* que ce dernier, la résistance arrivait à une valeur égale à celle qu'elle aurait eue si, en partant d'une résistance très élevée au commencement, on avait envoyé à travers cette dernière ce courant plus fort.

Supposons maintenant que, pour faire circuler le courant i, il faille un nombre minimum d'ions et appelons P la différence de potentiel sur la couche A qui contient un nombre d'ions suffisant pour faire circuler le courant i (on peut dire aussi que P est la différence de potentiel sur une couche moléculaire d'ions dans laquelle chaque ion porte son maximum de courant). En faisant croître davantage le courant i, deux choses peuvent se produire : ou bien l'aire A devient plus étendue (à cause des ions remplissant un espace extérieur à A et, par suite, le courant est amené par une aire proportionnelle à ce dernier), ou bien, si l'aire ne peut pas varier, il y a échauffement et peut-être même fusion.

Nous appellerons l'aire A ainsi définie *l'aire critique* et nous admettrons que c'est la première hypothèse qui est la plus acceptable, car elle explique assez bien la partie horizontale ($P = \text{const.}$) de notre courbe. Supposons maintenant que pour un courant donné i l'aire de la couche condensée soit plus grande que celle qui, remplie d'ions, porterait ce courant. Nous aurons alors un nombre d'ions plus grand que le nombre critique qui traverseront la surface dans le premier mouvement précipité (quand on établit la différence de potentiel entre les billes) ; la différence de potentiel produite sera donc moindre que la valeur critique P. Si l'établissement du courant i exige n ions, nous aurons dans le cas d'une surface A, plus étendue, na ions (où $a > 1$). Pour la surface critique la différence de potentiel est, par définition $P = \frac{r}{n} i$; pour une surface plus étendue on aurait $P = \frac{r}{an} i$; c'est-à-dire, $p < Pr$ serait la résistance ohmique d'un ion a pouvant être déterminé au moyen de notre équation différentielle. Cela veut dire qu'à l'endroit où l'aire est la plus chargée en ions ces ions la traversent moins facilement et que par conséquent l'accroissement de p avec i diminuera jusqu'à zéro (quand la valeur P est atteinte).

L'auteur montre en outre une relation frappante entre les voltages critiques des corps employés. Les tableaux ci-dessus nous donnent

$$P_{acier} = 0{,}23 \text{ volt}$$

$$P_{cuivre} = 0{,}173$$

$$P_{plomb} = 0{,}127$$

Supposons que les valences du fer et du cuivre soient 2 et celle du plomb 4 ; les équivalents (gramme) seront alors respectivement 28, 31,75 et 51,75. Et bien, en multipliant le P du fer par 28 on trouve

$$P_{fer} \times 28 = 6{,}44,$$

et de même,

$$P_{\text{cuivre}} \times 31,75 = 5,50,$$
$$P_{\text{plomb}} \times 51,75 = 6,57,$$

c'est-à-dire, approximativement,

$$P \times \text{équivalent (gramme)} = \text{constante}.$$

Admettons maintenant que la substance du cohéreur obéisse à la loi de Hooke et supposons de plus qu'il n'y ait pas de *cisaillement* (*shearing*). Soit alors S l'aire sur laquelle agit une pression π et désignons par dl le déplacement qui s'en suit ; on a ainsi,

$$d\pi = \alpha' S dl.$$

α' étant une constante.

Pour des déplacements très petits $dS \backsim dl$; donc

$$d\pi = a S dS$$

d'où

$$\pi = \frac{a}{2S^2}$$

Maintenant, au même degré d'approximation π varie comme le carré de la différence de potentiel ; par conséquent, très approximativement, S varie comme E. Mais la différence de potentiel nécessaire pour amener les billes du cohéreur en contact est P (conformément à la supposition de plus haut) ; en appelant donc ES le voltage appliqué au cohéreur, cette quantité varie comme (E — P).

Revenons à la figure 3. La tangente à l'origine mesure la résistance de l'aire S, et puisqu'à la limite (lim. $i = 0$) toutes nos courbes sont des lignes droites, la loi des résistances subsiste pour pareilles couches et ρ varie en raison inverse de S. Si cela est vrai, la forme générale de notre équation différentielle est

$$dp = c(P - p) \times \frac{1}{(E - p)di}$$

et la tangente à la courbe E = const. est, pour (lim. $i = o$)

$$CP(E - P) = kP ;$$

cette équation représente donc la résistance de la couche condensée entre les billes, quand on applique le voltage E k (E — P) serait alors constant pour une même substance : c'est en effet ce que l'expérience prouve ; et voici, à titre d'exemple, un tableau extrait du mémoire de MM. Guthe et Trowbridge.

Billes d'acier.

DIAMÈTRE FAIBLE			DIAMÈTRE FORT		
E	k	k (E — P)	E	k	k (E — P)
6,5	90	564	51	12,0	610
14,0	45	619	220	2,4	528
60,0	9,5	568			
220,0	2,5	550			Moyenne 569
		Moyenne 575			

En ce qui concerne le plomb, les courbes qu'on obtient, quoique de forme analogue aux précédentes, ne peuvent pas être représentées par notre équation

$$p = P(1 - e^{-ki})$$

excepté pour E = 220 volts. Mais nous ne pouvons pas, bien entendu, espérer à obtenir des résultats très concordants avec une substance aussi peu élastique que le plomb. Les billes avaient d'ailleurs acquis une déformation permanente après les essais.

Voici un tableau correspondant à E = 220 volts ; $k = 2,76$; P = 0,127 volt.

i	p observé	p calculé	i	p observé	p calculé
0,021	0,0081	0,0071	0,433	0,0848	0,885
0,051	0,0161	0,0168	0,512	0,101	0,961
0,102	0,0363	0,0312	1,024	0,127	0,119
0,208	0,0525	0,553			
k (E — P) = 607					

Les expériences précédentes correspondent à des cohéreurs à *un seul contact*. Les auteurs de ce mémoire ont en outre étudié l'effet de plusieurs contacts sur le voltage critique P. L'équation différentielle correspondant à n contacts est

$$dp = k(nP - p)di$$

d'où

$$p = nP(1 - e^{-ki}).$$

Les cohéreurs employés par l'auteur étaient sensibles aux oscillations hertziennes.

Conclusion. — De ces recherches des auteurs et d'autres expérimentateurs il résulte donc qu'il est plausible d'attribuer la haute résistance primitive d'un cohéreur à la couche condensée sur la surface des particules métalliques. Dorn a, en effet, montré (1) qu'en chauffant dans le vide des parcelles de métaux « nobles » elles perdent cette faculté de pouvoir servir à la confection d'un cohéreur.

Aschkinass (loc. cit.) ne trouve, au contraire, aucun changement dans le fonctionnement du cohéreur après avoir chassé la couche superficielle en chauffant les particules métalliques dans le vide. Mais ses résultats ne sont pas très nets.

Ces couches condensées forment pour ainsi dire une couche protectrice à la surface des parcelles métalliques et ceci est prouvé par l'expérience suivante : on met en série deux cohéreurs à contact simple et on mesure leur résistance avant leur fonctionnement et après ; or, on a trouvé qu'il n'y avait qu'un seul des deux qui fonctionnait et dans ce dernier on trouvait après un jour de repos une légère couche d'oxyde.

Aschkinass tire de ces expériences (faites avec le PbO^2 et CuS) des arguments contre la théorie de Lodge ; MM. Guthe et Trowbridge voient au contraire dans ces expériences une action analogue à la polarisation.

Ajoutons enfin qu'il semble que les particules d'un corps conducteur *quelconque* peuvent constituer un cohéreur ; par exemple le charbon. Or, Ayrton et Perry ont trouvé que la différence de potentiel entre les deux charbons d'une lampe à arc est indépendante de l'intensité du courant pourvu qu'ils soient tenus toujours à une même distance l'un de l'autre, ceci veut dire que la *résistance apparente* de l'arc est en raison inverse du courant. La partie horizontale des courbes ci-dessus correspond-elle à ce fait, trouvé uniquement par l'expérience ? La cohésion joue-t-elle un rôle quelconque dans la mise en train de l'arc ?

Eugène Néculcéa.

MESURES

Appareils de mesures pour courants alternatifs de la General Electric Company.

Electrical World, t. XXXVII, p. 688, 27 avril 1901.

A une récente conférence de l'Institut américain des ingénieurs électriciens, la General Electric Company avait exposé, entre autres appareils, un fréquencemètre, un indicateur de facteur de puissance, et un indicateur de forme des ondes.

Nous allons décrire sommairement ces appareils.

1° Indicateur de fréquence. — L'indicateur de fréquence est un instrument à lectures directes, indiquant le nombre de périodes du courant qui traverse le circuit auquel il est relié. Il se compose essentiellement (fig. 1) de deux

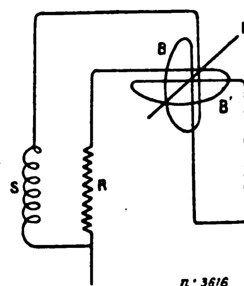


Fig. 1. — Indicateur de variation de fréquence.

bobines fixes BB' faisant entre elles un angle droit, et d'un disque en fer doux mince D fixé perpendiculairement sur un arbre vertical dont les extrémités pivotent sur des crapaudines en saphir, sans ressort, ni autre force directrice. Les deux bobines sont montées en dérivation sur la tension alternative dont il s'agit de mesurer la fréquence.

Sur l'arbre est fixée, à angle droit, une aiguille très légère équilibrée dont la partie terminale, en forme de rectangle, peut se déplacer devant une échelle graduée, disposée sur une surface cylindrique verticale et dont les divisions indiquent des périodes.

On monte en série avec l'une des bobines une self-induction S et, en série avec l'autre, une résistance R. Lorsque la fréquence du courant traversant le circuit est modifiée, le rapport des courants traversant les deux bobines change aussi. Le disque de fer doux s'arrête dans une position dépendant des ampères-tours relatifs dans les deux bobines et la position de l'aiguille sur l'échelle est modifiée.

Lorsque la différence de potentiel alternative dans la ligne varie, les intensités des courants traversant les deux bobines varient dans la

même proportion, et c'est pourquoi l'instrument n'est pas affecté par cette variation de tension.

L'appareil décrit ci-dessus doit plutôt être considéré comme un indicateur de variation de la fréquence que comme un fréquence-mètre proprement dit.

2° Indicateur de facteur de puissance. — L'indicateur de facteur de puissance est construit sur le principe suivant :

Dans le système diphasé ou triphasé équilibré, le facteur de puissance modifie la proportion des watts, comme on l'a établi par la méthode qui consiste à mesurer au moyen de 2 wattmètres la puissance du système. Cette méthode consiste à faire passer le courant de l'une des phases dans les deux enroulements principaux des wattmètres, les enroulements dérivés étant parcourus respectivement par les courants dérivés entre cette phase et chacune des deux autres.

Ce principe a été appliqué de différentes manières par la General Electric Company dans la construction de l'indicateur de facteur de puissance. L'appareil exposé à la conférence possède une bobine fixe B pour le courant et deux bobines en dérivation bb' (fig. 2). Le courant est amené dans les bobines mobiles par des fils dont la force directrice est négligeable en comparaison de l'action réciproque qui se produit entre la bobine fixe et les bobines mobiles, quand l'instrument est relié au circuit. L'échelle de l'appareil est graduée empiriquement ; celle de l'appareil exposé, qui devait servir pour une commutatrice, indique un facteur de puissance égal à 1 au milieu de l'échelle, et un facteur = 0,90 à chacune des extrémités de l'échelle.

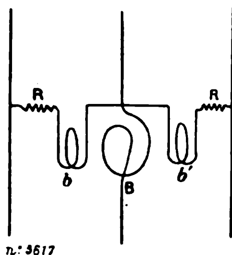


Fig. 2. — Indicateur de facteur de puissance.

3° Indicateur de forme d'ondes. — L'indicateur de forme d'ondes exposé à la conférence est destiné à déterminer la forme d'onde de la force électromotrice du courant, et est utilisé d'une façon à peu près constante à la General Electric Company, depuis un certain nombre d'années.

Il consiste en un disque de contact et en un petit moteur synchrone à 4 pôles sur l'axe duquel est fixé un balai tournant qui frotte sur le bord du disque, le moteur étant disposé pour tourner sans mouvement oscillatoire. Primitivement le disque était fixé sur l'arbre de la génératrice sur laquelle on voulait faire des essais, mais le grand nombre de pôles des grandes machines modernes a montré la nécessité d'avoir un appareil indépendant de l'angle existant entre deux pôles consécutifs. Tel qu'il est construit, l'appareil est bien plus approprié aux usages habituels.

Le dispositif de contact consiste en un certain nombre de segments métalliques fixés sur le bord d'un disque en ébonite. Il y a 4 grands segments et 4 segments plus petits alternés formant 4 paires composées chacune d'un grand et et d'un petit segment : le nombre de paire de segments correspond au nombre de pôles du petit moteur synchrone. Tous les petits segments sont reliés à une borne, et tous les grands segments à une autre.

Quand le balai tournant frotte sur un petit segment s il connecte directement un condensateur C avec le courant dont il s'agit d'étudier la tension, et ce courant traverse le condensateur (fig. 3). A l'instant où le balai quitte le petit segment s, il laisse le condensateur chargé avec la différence de potentiel instantanée que le circuit possède à cet instant. Le balai, en frottant sur le grand segment S ferme le circuit formé par le condensateur et par le voltmètre à courant continu V, et occasionne la décharge du condensateur à travers le voltmètre. Ces charges et décharges successives se produisent 4 fois

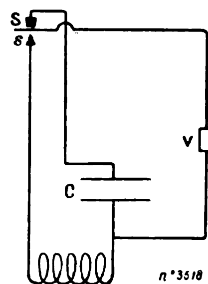


Fig. 3. — Indicateur de forme d'ondes.

par tour, et sont, avec l'instrument actuellement employé, et les fréquences usitées dans l'industrie, suffisamment rapides pour produire une déviation constante.

Au disque d'ébonite est fixé un index qui peut être tourné à la main, et qui peut être déplacé de 5 en 5 degrés sur un cadran divisé, pour permettre à l'opérateur de lire des différences de potentiel instantanées équidistantes.

Une modification dans la capacité du condensateur ou dans la résistance de l'instrument n'affecte pas les valeurs relatives indiquées, puisque la capacité et la résistance ne sont pas modifiées pendant l'essai. La déviation du voltmètre est actuellement proportionnelle au voltage instantané, puisque l'amortissement de l'appareil n'affecte pas la déviation constante.

L'appareil décrit a donné toute satisfaction, et des appareils construits sur ce modèle sont en usage dans les universités, usines et stations centrales aux Etats-Unis ROESCH.

Méthode industrielle pour la mesure des faibles résistances, par **Edgecumbe**. *Electrician*, t. XLVII, p. 61, 3 mai 1901.

L'auteur décrit dans sa communication, un appareil différentiel à lectures directes permettant d'évaluer rapidement, par comparaison, et d'une façon industrielle, une faible résistance. Le schéma ci-dessous indique la manière de disposer les connexions.

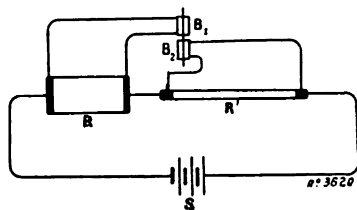


Fig. 1.

S (fig 1) représente une source de courant qui n'est pas nécessairement constante. R est une résistance étalon à laquelle on veut comparer la résistance inconnue R'. Les bornes de R et R' sont reliées à deux bobines B_1 et B_2, invariablement fixées sur le même axe, monté sur pivot pour permettre au système de se mouvoir dans un champ magnétique intense, comme cela a lieu dans un appareil ordinaire à équipage mobile. Les bobines sont connectées de telle sorte qu'elles tendent à tourner en sens inverse l'une de l'autre, et les pièces polaires de l'aimant sont taillées de manière que l'une des bobines, en tournant, arrive dans un champ d'intensité croissante, tandis que l'autre se déplace dans un champ d'intensité décroissante. Il en résulte que, pour un rapport donné entre les pertes de tension dans R et R', l'équipage mobile prend une position bien définie tout à fait indépendante de la valeur du courant. Cette position est indiquée par un index fixé aux bobines et se déplaçant sur une échelle graduée. L'appareil est pourvu d'un certain nombre de résistances étalons dont chacune peut, au moyen d'une simple fiche, être insérée dans le circuit. Cet instrument est parfaitement apériodique et permet de faire des lectures directes; il a en outre l'avantage de permettre la mesure d'une résistance traversée par le courant normal d'utilisation sans qu'on ait à la séparer du circuit dans lequel elle est insérée. C'est ainsi par exemple qu'on peut mesurer facilement la résistance des spires entre deux lames consécutives d'un collecteur de dynamo, sans qu'il soit nécessaire de retirer les spires des cannelures, ce qui permet de localiser immédiatement un défaut d'isolement.

Tout en ne donnant pas autant d'exactitude que les mesures au potentiomètre, la mesure décrite ci-dessus est avantageuse en ce sens qu'elle permet d'utiliser une source quelconque de courant, tandis que la première exige l'emploi d'un courant absolument constant. Les corrections dues à la température sont en outre éliminées, parce que les deux bobines sont placées dans une seule et même enveloppe.

G. ROESCH.

Production et mesure des courants sinusoïdaux, par **M. Wien**, *Dr. Ann.*, t. V, p. 425-450, mars 1901.

Ces courants sinusoïdaux sont obtenus par une sirène électrique, qui permet de réaliser une fréquence de 8 500 et même de 17 000, si on ne tient pas à ce que les courants soient rigoureusement sinusoïdaux. L'intensité atteint 0,2 ampère quand la machine est fermée sur une résistance de 100 ohms.

Un disque de laiton, ayant un diamètre de 40 cm et une épaisseur de 1 cm porte sur son contour 250 dents, taillées à la fraise sur une profondeur de 1 cm. Les intervalles sont remplies

par de la tôle à transformateurs épaisse de 0,3 cm. Ce disque est disposé entre les armatures tronconiques d'un électro-aimant, de manière que les dents se trouvent vis-à-vis des extrémités polaires et le disque est tourné avec soin, l'axe du moteur qui le commande très bien centré, en sorte qu'on peut approcher les extrémités polaires à 0,25 mm du disque.

Même à la vitesse de trente-quatre tours par seconde, il ne se produit aucun déplacement latéral du disque.

Sur les pièces polaires de l'électro-aimant

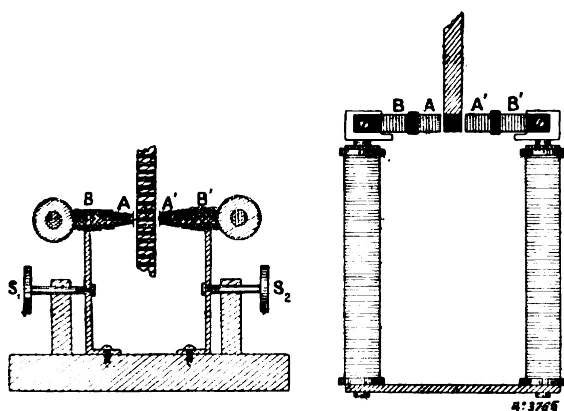


Fig. 1 et 2. — Générateur de courants sinusoïdaux.

(fig. 1 et 2) est enroulé le fil dans lequel on recueillera les courants induits. On fait varier l'intensité en écartant plus ou moins les armatures, la fréquence en insérant des résistances dans le circuit du moteur.

Pour déterminer cette fréquence, on a disposé sur le disque deux autres couronnes de noyaux de fer, l'une de 64, l'autre de 16 noyaux : ces couronnes se déplacent devant l'aimant d'un téléphone dont la membrane est enlevée. Dans un autre téléphone relié au premier, on perçoit un son dont la hauteur fait connaître le nombre de tours du disque et par suite la fréquence.

Tant que le circuit est fermé sur de simples résistances, l'intensité est très faible et le courant n'est pas sinusoïdal. Mais en insérant dans ce circuit un condensateur convenable et en réglant son induction propre, on peut le mettre en résonance électrique, c'est-à-dire rendre la période de ses oscillations propres égale à celle du courant alternatif. L'intensité du courant reçoit ainsi une augmentation considérable et cette augmentation porte presque exclusivement sur le terme correspondant à la période fondamentale ; le courant devient donc en outre à très peu près sinusoïdal. Par exemple, l'intensité du courant fondamental devient 24,2 fois plus grande, tandis que l'octave prend une valeur égale seulement à 1,32 fois sa valeur primitive.

Pour mesurer l'intensité totale des courants harmoniques $A_1^2 + A_2^2 + \ldots$, dans le circuit ne comprenant pas de condensateur, M. Wien procède de la manière suivante. Une première fois, l'électrodynamomètre est mis en dérivation sur une résistance sans induction et son induction propre est compensée par un condensateur pour la période fondamentale ; l'indication de l'instrument est alors sensiblement proportionnelle à A_0^2. La seconde fois l'électrodynamomètre est en dérivation sur une résistance sans induction R_1 et une bobine d'induction propre L_1, choisies de manière à réaliser la condition :

$$\frac{R_1}{R_2} = \frac{L_1}{L_2}$$

Dans ce cas, l'électrodynamomètre enregistre de la même manière les divers courants, quelle que soit leur période, la déviation est par conséquent proportionnelle à $A_1^2 + A_2^2 + \ldots$ Le seul terme qui ait de l'importance en dehors du terme fondamental est l'octave de celui-ci ; les autres sont faibles. Le courant obtenu sans l'emploi de la résonance se compose, outre le terme fondamental, de l'octave dont l'intensité représente les 18 p. 100 de l'intensité totale, et de termes supérieurs très faibles. En amenant le circuit secondaire en résonance avec la période fondamentale, on multiplie l'amplitude du terme fondamental par 24,2, celle de l'octave par 1,32 seulement en sorte que l'amplitude de l'octave n'est plus guère que le 1/100e du total : le courant est donc devenu à très peu près sinusoïdal.

La force électromotrice qui correspond à l'octave est d'ailleurs assez grande pour qu'on puisse réaliser la résonance relativement à cette octave et en rendre l'amplitude très grande par rapport à celle du terme fondamental. On obtient ainsi un courant presque sinusoïdal dont la fréquence est le double de celle obtenue dans le cas précédent.

A vrai dire, l'amplitude du terme fondamental est encore les 10 p. 100 de la totalité ; la loi

sinusoïdale n'est donc pas aussi strictement observée, mais c'est une approximation encore suffisante pour certaines applications.

On apporte le plus grand soin à la construction des dents de fer doux insérées dans le plateau de la sirène ; mais malgré tout, leur identité n'est pas complète. Il s'ensuit des variations dans l'intensité.

L'effet de cette perturbation est sensible surtout si une série de dents consécutives a une action moindre que la série diamétralement opposée. On peut en apprécier l'importance en mesurant séparément l'intensité produite par divers segments de la couronne. Il suffit de disposer un commutateur qui ferme le circuit seulement pendant le temps où le segment considéré traverse le champ magnétique. On vérifie ainsi que les variations ne dépassent jamais 1 p. 100.

Expériences de résonance. — La sirène électrique fournit un moyen commode de répéter les expériences de résonance. On vérifie aisément que l'intensité du courant induit passe par un maximum quand la période propre du circuit induit est égale à celle du courant inducteur. Si on dispose deux circuits induits de manière qu'ils agissent mutuellement l'un sur l'autre, la réaction est maxima quand ces deux circuits sont en résonance.

L'intensité du courant induit passe par un minimum qui correspond au maximum observé avec un seul circuit et par deux maxima qui se trouvent de part et d'autre de ce minimum (fig. 3).

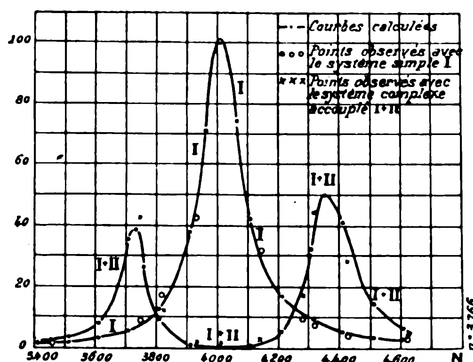


Fig. 3.

Quand on diminue l'induction mutuelle, les deux maxima se rapprochent l'un de l'autre ; le minimum devient moins prononcé. Puis il n'y a plus qu'un seul maximum correspondant à la période propre des deux systèmes. Plus on diminue l'induction mutuelle, plus le maximum devient prononcé : finalement on obtient une courbe de résonance et le système secondaire ne réagit plus que sur une fréquence déterminée.

Instruments de mesure pour les courants sinusoïdaux de grande fréquence. — L'électrodynamomètre de Kohlrausch, en série ou en dérivation, peut servir à la mesure des courants sinusoïdaux intenses. Mais il n'est pas assez sensible pour servir de galvanoscope dans un réseau de Wheatstone.

Pour les fréquences comprises entre 500 et 3 000 le téléphone peut rendre des services dans ce cas : cependant, il est impropre aux expériences de longue durée, parce que l'oreille se fatigue rapidement, surtout quand le son est aigu.

M. Wien emploie, pour les mesures de courants sinusoïdaux une modification du galvanomètre à vibrations de Rubens.

Un équipage de galvanomètre, dont le moment d'inertie est très faible, est suspendu au milieu d'un fil de torsion tendu. En choisissant convenablement le diamètre et la longueur de ce fil, on peut régler la période d'oscillation à 1/100, 1/1000 ou 1/10 000e de seconde. La sensibilité est évidemment plus faible que si le système était suspendu à un fil de quartz, mais les oscillations seront beaucoup plus intenses, si on fait agir sur l'équipage un champ magnétique alternatif dont la période soit justement celle des oscillations. L'équipage est placé entre les surfaces polaires d'un tore de fer doux entouré de fil, qui fournit un champ environ 10 fois plus intense que celui des bobines d'un galvanomètre ayant la même résistance. Au système vibrant est fixé un miroir ; l'image d'une fente dans ce miroir s'élargit quand les vibrations se produisent.

Pour régler un zéro, comme dans le réseau de Wheatstone, on place un réticule sur la fente et on s'arrange de manière que l'image de ce réticule dans le miroir, observée avec une lunette, soit aussi nette que possible.

L'instrument peut déceler encore un courant alternatif de 10^{-10} ampère. Il peut servir jusqu'à une fréquence de 4 000 environ ; au delà de cette limite, M. Wien emploie l'électro-dynamo-

mètre de Bellati-Giltay. Pour augmenter la sensibilité de cet instrument, il choisit un équipage très léger et de très faible moment d'inertie, donne à la gorge des bobines la section indiquée par Maxwell et emploie pour l'enroulement un fil de diamètre croissant. Comme inducteur du champ magnétique, conviennent les bobines d'un galvanomètre de Du Bois-Rubens ou de Paschen à condition d'éviter les pièces métalliques de quelque étendue où pourraient se produire des courants de Foucault.

Comme les bobines ont une induction propre considérable, l'impédance est très grande pour les courants de fréquence élevée, ce qui rendrait l'usage de l'instrument impossible, en dépit de sa sensibilité; il convient donc de réduire cette impédance par l'adjonction de condensateurs de capacité convenable. Seulement cette compensation de l'induction propre par la capacité ne peut être réalisée que pour la période fondamentale; il s'ensuit que l'instrument n'est sensible que pour les courants alternatifs d'une fréquence déterminée.

L'électrodynamomètre s'est montré à très peu près également sensible pour les diverses fréquences étudiées et il est probable qu'il en sera ainsi même pour des fréquences encore plus élevées. M. Lamotte.

Méthodes stroboscopiques pour déterminer la fréquence et le glissement, par **G. Benischke.** *Dr. Ann.*, t. V, p. 487-488, juin 1901.

M. Benischke rappelle qu'en 1898, il a présenté à la Société électrotechnique un appareil basé sur la méthode stroboscopique et dont la disposition permet de régler facilement et de déterminer le nombre de tours du disque. C'est un petit moteur dont l'axe porte à l'une de ses extrémités le disque, à l'autre une vis sans fin qu'on peut, à l'aide d'un levier à main, embrayer avec un compteur de tours. Deux rhéostats permettent de faire l'un un réglage grossier, l'autre un réglage plus précis de la vitesse.

Le même principe peut être utilisé pour la détermination du glissement dans un moteur à champ tournant. On monte le disque stroboscopique sur l'axe du moteur et on éclaire ce disque à l'aide d'une source alimentée par le circuit sur lequel est branché le moteur. Les passages des secteurs noirs du disque devant un repère quelconque sont en rapport simple avec le glissement : ce rapport dépend du nombre des segments et du nombre des pôles du moteur.

Si la force électromotrice est suffisante, on emploiera comme source de lumière une lampe à arc, ce qui permet d'observer en plein jour.

Il n'est pas possible avec les fréquences usuelles de 80 et au-dessus d'observer en plein jour avec une lampe à incandescence comme le prétend M. Samojloff.

Si on ne peut faire l'obscurité ni employer une lampe à arc, on observera à travers un disque percé une veine d'eau s'écoulant d'un vase qui est supporté par une tige de fer. Devant cette tige on place un électro-aimant excité par le courant alternatif. Par un réglage convenable, la veine se résout en gouttes dont le nombre est égal à celui des inversions de courant. On dispose de la vitesse du disque de manière que ces gouttes paraissent immobiles. M. Lamotte.

DIÉLECTRIQUES

Sur les pertes d'énergie dans les diélectriques, par **Ch. Proteus Steinmetz.** *Electrical World*, t. XXXVII, p. 1065, 22 juin 1901 (traduction littérale).

Nous donnons, dans ce qui suit, les résultats de quelques déterminations de la perte d'énergie dans des condensateurs électrostatiques, sur des circuits de courant alternatif, à diverses fréquences et à différents voltages.

Le condensateur était constitué par des feuilles de papier d'étain, et de papier paraffiné, noyées dans la paraffine, à chaud et dans le vide, de manière à chasser autant que possible les bulles d'air [1].

En prévision de ce que la perte d'énergie ne sera qu'une fraction de 1 p. 100 des voltampères envoyés dans le condensateur, on n'examinera pas la possibilité de mesurer directement l'énergie au wattmètre, et cela pour les raisons suivantes :

1. Même pour une forte surcharge du circuit principal et du circuit dérivé du wattmètre, l'indication de l'instrument est voisine de la limite inférieure de l'échelle, et la lecture n'accuse

[1] Les condensateurs étaient du modèle de 500 volts de la G. E. C°; après chaque série d'essais, ils étaient renvoyés à la G. E. C°, de sorte que les essais faits aux différentes fréquences n'étaient pas directement comparables.

qu'environ un demi pour cent des voltampères envoyés dans l'appareil.

2. L'inductance de la bobine de tension, et la capacité de la résistance en série avec elle ne peuvent pas être déterminées avec assez d'exactitude pour permettre d'en déduire la valeur de l'angle de décalage de phase dû au circuit de tension de l'instrument, de telle sorte que, pour des décalages de phase voisins de 90°, on aurait des erreurs de mesure exagérées.

C'est pourquoi le Dr Ch. P. Steinmetz a imaginé la méthode suivante, qui paraît tout à fait satisfaisante :

1. Une bobine d'induction ayant un facteur de puissance extrêmement faible (un tiers à trois quarts pour cent, suivant la fréquence) et une réactance égale à la réactance de capacité du condensateur, était montée en parallèle avec ce dernier, de telle sorte que le courant décalé en arrière sur l'inductance et le courant de charge décalé en avant sur la capacité du condensateur, se compensaient, et qu'il ne restait qu'un faible courant résultant d'un décalage de phase pratiquement négligeable. Le wattmètre peut donc être utilisé pour mesurer avec beaucoup d'exactitude l'énergie totale absorbée dans le condensateur et dans la bobine d'induction. L'énergie absorbée dans la bobine était déterminée séparément, en mesurant la tension et l'intensité au moyen d'un courant continu passant dans la bobine ; en retranchant des indications du wattmètre le résultat ainsi obtenu, on avait la quantité d'énergie absorbée dans le condensateur.

2. L'essai fut répété en mettant la bobine de self-induction en série avec le condensateur ; dans ce cas, le voltage de charge, déwatté, de la bobine d'inductance, et le voltage décalé du condensateur, se compensaient, et la faible tension résultante était, pratiquement, en concordance de phase avec le courant.

Dans les deux cas, une résistance non inductive, relativement très grande si on la compare à la réactance de capacité du condensateur, était insérée en série avec ce dernier, afin d'éliminer les harmoniques supérieures du courant [1], et on utilisait un alternateur à induit lisse donnant pratiquement une onde sinusoïdale.

Comme l'exactitude de cette méthode était subordonnée à l'absence, dans la bobine d'induction, de pertes autres que les pertes ohmiques, la bobine était établie sans fer, afin d'éliminer les pertes par hystérésis ; elle avait un très grand diamètre et était faite avec du câble torsadé, pour exclure les courants parasites dans les conducteurs, la présence des courants parasites étant une cause d'erreur dans les essais [1].

On utilisa de 7 à 35 éléments de condensateurs, et les essais portèrent sur une série de tensions comprises entre 220 et 980 volts, avec des couplages tantôt en parallèle, tantôt en série du condensateur et de la bobine d'induction. Les résultats moyens des essais sont donnés dans le tableau ci-dessous (p. 29), par bloc de condensateur.

Ils se résument comme suit :

1° Avec une onde sinusoïdale de force électromotrice indiquée, le courant de charge dans le condensateur est directement proportionnel à la force électromotrice indiquée, et à la fréquence, c'est-à-dire que la capacité du condensateur, sur un circuit à courant alternatif, est constante dans toute la série d'essais.

2° La perte d'énergie dans le condensateur est pour toute la série d'essais, proportionnelle au carré de la force électromotrice indiquée, c'est-à-dire que le facteur de puissance du conducteur à fréquence constante, est constant, et indépendant de la force électromotrice appliquée au

(1) Lorsqu'on ne monte pas de résistance en série avec le condensateur, même dans le cas d'une onde sinusoïdale de force électromotrice à peu près parfaite, il n'est pas rare de trouver le courant du condensateur souvent supérieur à celui qui correspond à la capacité, parce que des harmoniques très élevées, trop petites pour être distinguées dans l'onde de la force électromotrice, peuvent produire des courants excessifs dans le condensateur. Par exemple, une dix-neuvième harmonique de force électromotrice de 2 p. 100, avec un transformateur ayant une inductance de 4 p. 100 donne, dans le condensateur, une dix-neuvième harmonique d'un courant ayant une amplitude moitié plus grande que celle du courant fondamental.

(1) Dans ce but, deux conducteurs enroulés plusieurs fois sur eux-mêmes étaient reliés en série pour les essais du condensateur, et en opposition pour les essais de contrôle. Dans ce dernier cas, les courants parasites dans le conducteur étaient évidemment les mêmes que dans le premier cas, mais comme, en l'absence d'un champ magnétique, la bobine est, pratiquement, non inductive, les pertes peuvent être mesurées avec du courant alternatif au moyen d'un wattmètre, et comparées aux pertes ohmiques mesurées à l'aide du courant continu.

condensateur (en réalité, la perte d'énergie paraît plutôt proportionnelle à une puissance un peu supérieure au carré de la force électromotrice).

3° Le facteur de puissance du condensateur ne semble pas varier avec la fréquence, c'est-à-dire que le rendement du condensateur paraît être indépendant de la fréquence; ou, en d'autres termes, la perte d'énergie par période est proportionnelle au carré de l'intensité du champ électrostatique; mais indépendante de la fréquence; on peut s'en convaincre, en remarquant que divers lots de condensateurs ont été utilisés dans différents essais, et que la perte d'énergie a varié considérablement dans les diverses séries de condensateurs mis en expérience.

4° Le facteur de puissance du condensateur parfait est extrêmement faible, il est d'environ 0,005 en moyenne; le rendement est donc très élevé et atteint environ 99,5 p. 100.

Soient : n la fréquence ;

I le courant ;

W la perte d'énergie par bloc de condensateur, avec une différence de potentiel E

Nous avons donc, a et h étant des constantes,

$$I = a n E \ 10^{-6}$$
$$W = h n E^2 \ 10^{-9}$$

d'où l'on déduit pour le facteur de puissance la valeur

$$f = \frac{h}{a} 10^{-3}$$

n .	57	77,3	93,9	114	133	Moyenne
a .	15,61	15,59	15,55	15,57	15,60	15,59
h .	58,5	86	105	102,5	67,5	83,9
f %	0,375	0,551	0,675	0,659	0,433	0,539

Il résulte des chiffres ci-dessus que le rendement varie entre 99,625 p. 100 et 99,325 p. 100; ceci montre que le condensateur est, de tous les appareils connus jusqu'ici, celui qui a le rendement le plus élevé.

En ce qui concerne l'hystérésis diélectrique, le Dr. P. Steinmetz pense qu'un tel phénomène existe, et il est sous l'impression qu'une très grande partie de la perte d'énergie observée est due non pas à l'hystérésis diélectrique, mais à des traces d'air qui restent toujours emprisonnées dans le diélectrique du condensateur, de telle sorte qu'on peut attribuer la perte d'énergie au mouvement mécanique des molécules d'air, sous l'influence de l'effort électrostatique alternatif.

G. Rœsch.

Sur le passage du courant électrique à travers les diélectriques liquides, par **E. v. Schweidler**. *Dr. Ann.*, t. V, p. 483-488, juillet 1901.

Les expériences précédemment décrites par l'auteur se rapportaient seulement au toluène. D'une manière générale, les autres liquides mauvais conducteurs donnent les mêmes résultats. Le benzène pur du commerce et le pétrole ordinaire possèdent une conductibilité du même ordre de grandeur que celle du toluène et on constate aussi : la diminution de la conductibilité avec le temps par suite du passage du courant, l'accroissement de cette conductibilité quand on supprime le courant, un accroissement notable quand on renverse le sens du courant. L'intensité du courant n'est pas proportionnelle à la force électromotrice et il ne se produit pas de polarisation.

L'hexane chimiquement pur a une conductibilité si faible que le courant est à peine mesurable : cependant avec une force électromotrice de 400 volts, on observe une déviation appréciable et un accroissement brusque et passager au moment de l'inversion du courant.

Si on compare à la force électromotrice E l'intensité i qui s'établit quand cette force électromotrice a agi un certain temps, on trouve que i croît plus lentement que E. Quand on fait varier E, l'intensité i décroît à partir de sa nouvelle valeur initiale, si on a fait croître E, croît à partir de cette valeur si on a fait décroître E.

Ces variations s'atténuent rapidement et au bout de quelques minutes, l'intensité i prend une valeur bien définie dépendant seulement de la valeur actuelle de E.

Le mélange de petites quantités d'autres liquides ou de solides solubles (toluène ou benzine ajoutés au benzène, camphre ou paraffine dans le toluène ou le benzène) ne produit aucune modi-

fication de la conductibilité du dissolvant. Des particules solides en suspension n'ont pas non plus d'influence. Par contre la conductibilité du benzène ou du toluène augmente quand on les laisse plusieurs jours en vase ouvert : elle augmente aussi rapidement quand on souffle sur la surface du liquide, ce qui paraît dû à la présence de l'eau.

Une tentative faite pour mettre en évidence une force électromotrice thermoélectrique entre deux liquides mauvais conducteurs est restée sans succès. M. L.

SOCIÉTÉS SAVANTES ET TECHNIQUES

SOCIÉTÉ INTERNATIONALE DES ÉLECTRICIENS

Séance du 5 juin 1901 (suite) (1).

Observations relatives aux différents régimes des lampes à arc, par Bochet.

Dans cette communication, M. Bochet, président de la seconde section du comité, fait connaître les résultats de l'étude faite par cette section des divers régimes usités pour les lampes à arc ; il expose successivement le résumé des renseignements fournis par divers constructeurs et les observations des membres de la section.

Renseignements des constructeurs. — Plusieurs constructeurs, entre autres, la Société industrielle des Téléphones, M. L. Bardon, MM. Vigreux et Brillié, la Compagnie générale d'électricité de Creil et la Compagnie internationale d'électricité, ont fourni avec empressement et en grand détail les renseignements qui leur ont été demandés sur les arcs à faible voltage, 35 à 38 volts, à voltage moyen, 38 à 50 volts, sur les arcs à courant alternatif et en vase clos.

Les avis reçus concordent suffisamment pour qu'il soit possible de les résumer comme suit :

1° *Arcs à bas voltage.* — Ces arcs étant réglés entre 35 et 38 volts donnent de très bons résultats comme fixité et comme qualité de lumière avec les crayons spéciaux fabriqués pour ce régime. Le tableau qui suit indique les diamètres de crayons convenables pour ces arcs.

(1) Voir *L'Éclairage Électrique* du 28 septembre, t. XXVIII, p. 482.

Crayons Siemens, marque A.

Positifs à mèche. Négatifs homogènes.

	Positifs.	Négatifs.
ampères	mm	mm
6	13	8
8	15	9
10	17	11
12	18	12

Il y a grand intérêt à rechercher des qualites de crayons telles que le négatif se taille en pointe effilée, comme l'a indiqué Mme Ayrton au Congrès de l'année dernière.

Avec les régulateurs différentiels ayant un recul suffisant et un bon amortissement, il est possible de maintenir la stabilité de l'arc sans rhéostat additionnel. On en profite, avec les arcs à bas voltage, pour monter trois lampes sur 110 volts ou six lampes sur 220 volts. Toutefois, suivant les avis les mieux autorisés, il convient de se réserver, au moins, 38 à 42 volts par lampe, lorsqu'il s'agit d'installations nouvelles où l'on peut fixer à son gré le voltage.

On peut aussi, bien entendu, monter ces arcs par grand nombre en série, mais les constructeurs ne conseillent pas de dépasser 500 à 600 volts, en raison des difficultés d'isolation des lampes.

Comme intensité, il ne faut pas descendre au-dessous de 2 ampères et au-dessus de 20 ampères il y a lieu d'adopter un voltage plus élevé pour l'arc.

2° *Arc à voltage moyen de 38 à 50 volts.* — Comme il vient d'être dit, il convient de faire croître le voltage en même temps que l'intensité.

Le tableau ci-dessous donne les régimes et les diamètres assurant un bon fonctionnement.

Crayons de la Compagnie Française des charbons pour l'électricité.

Positifs à mèche. Négatifs homogènes.

ampères	volts	Positifs. mm	Négatifs. mm
2	36-40	9	6
3	38-41	11,3	7
4	39-42	13	8
6	40-43	15	9
8	41-44	17	10
10	42-45	18	11
12	43-46	22	15
16	44-47	24	16

Avec des régulateurs suffisamment sensibles, la stabilité des arcs à voltage moyen peut naturellement être assurée sans rhéostat, comme celle des arcs à faible voltage. Mais on préfère généralement employer un rhéostat pour accroître la stabilité. Les arcs sont alors montés par deux sur 110 volts, trois sur 150 volts, quatre sur 220 volts.

Dans ces conditions, il est possible d'utiliser des régulateurs extrêmement simples et robustes tels que ceux qui ne comportent qu'une bobine en dérivation pour assurer l'allumage et le réglage de la lampe.

Aussi les constructeurs font-ils à la fois, pour la plupart, des lampes de ce type et celles, plus délicates, que nécessite la marche sans rhéostat.

3° *Arcs à courants alternatifs.* — Grâce à l'emploi de bobines de self-induction, qui ne provoquent pas, comme les rhéostats ordinaires, une perte notable d'énergie, on n'a pas à se préoccuper de l'utilisation complète à la lampe même, du voltage disponible. On monte ces arcs sur des circuits alimentés, soit par des transformateurs spéciaux, soit sur les circuits secondaires desservant à la fois des lampes à arc et des lampes à incandescence. On peut placer les lampes isolément sur des circuits à 40 volts, par deux sur 80 volts, trois sur 110 volts, six sur 220 volts, en intercalant toujours des bobines de self-induction.

Par raison de sécurité, les constructeurs conseillent généralement de ne pas dépasser 220 volts.

Avec des lampes spéciales, on peut arriver à monter jusqu'à huit lampes en série sur 220 volts.

Le tableau qui suit donne les régimes et les dimensions de crayons adoptés par certains constructeurs pour ce genre de lampes :

ampères	volts	Charbons à mèche de : mm
6	27	9 en haut et en bas
8	28	10 »
10	28	11 »
12	28	12 »
14	29	14 »
16	29	14 »
18	29	16 »
20	30	16 »
25	30	18 »
30	30	20 »

D'autres constructeurs préfèrent employer un crayon à mèche en haut et un crayon homogène en bas, suivant l'avis donné par M. Blondel.

4° *Arcs en vase clos.* — Il n'y a pas lieu de revenir sur les conditions de fonctionnement de l'arc en vase clos présentées en grand détail dans ce journal. Cet arc fonctionne sous un voltage de 80 volts entre les charbons. Ces derniers sont homogènes et leurs extrémités restent planes ; l'arc tourne continuellement. Il en résulte un manque de stabilité de la lumière dont la teinte est violacée.

On monte ces arcs en simple dérivation sur des circuits à 110 volts. On va même jusqu'à utiliser des lampes de ce genre sur des circuits de 200 à 220 volts avec 150 volts entre les crayons. La lumière est alors absolument violette et le rendement, toujours très médiocre avec ce genre d'appareils, devient tout à fait mauvais.

A côté de ces défauts, l'arc en vase clos présente l'avantage de permettre l'emploi de crayons ordinaires, et de n'exiger qu'une consommation très réduite de ces crayons. La durée d'une paire de crayons peut atteindre jusqu'à deux cents heures ; les frais de main-d'œuvre pour le remplacement sont donc très réduits. Enfin, il suffit de régulateurs extrêmement simples avec ce genre d'arc.

Comme on le sait, ces qualités pratiques ont provoqué un développement considérable de ce système en Amérique. Mais les exigences très justifiées, d'ailleurs, de la clientèle européenne au point de vue de la qualité de la lumière, ont fait obstacle à ce développement en Europe et

l'on doit constater son peu de succès chez nous.

Observations de la section. — En dehors de ces renseignements provenant de l'extérieur, les discussions qui ont eu lieu au sein de la deuxième section ont conduit aux observations suivantes :

L'arc à bas voltage est avantageux en pratique à condition d'employer des crayons bien appropriés.

Avec des régulateurs convenablement établis, il est possible de maintenir en pratique la stabilité de l'arc sans rhéostat en circuit. Si la résistance du circuit est rigoureusement nulle, il faut régler simultanément l'intensité du courant et l'écart dans chacun des arcs en circuit. En effet, on sait que l'arc électrique présente l'apparence d'une force contre-électromotrice. Ce fait résulte de ce que l'augmentation de l'intensité produit un accroissement de la section de l'arc et, par suite, une diminution de sa résistance.

Si l'on considère un circuit comprenant une résistance r et un certain nombre d'arcs en série trois par exemple, on a

$$E - 3e = ri$$

D'où il ressort que l'intensité i est indéterminée, si la résistance r est réduite à o.

On voit donc qu'il ne suffit pas de régler les différences de potentiel e à chaque lampe, pour obtenir un régime stable quand r est nulle. En conséquence, des régulateurs possédant simplement des bobines de réglage en dérivation ne permettent pas le fonctionnement sur les circuits ne présentant aucune résistance. Mais il convient de faire remarquer de suite qu'un pareil régime ne peut être utilisé pratiquement, car les canalisations offrent toujours une certaine résistance et, la plupart du temps, cette résistance est suffisante pour permettre un bon fonctionnement des lampes à voltage constant.

Des essais minutieux effectués au Laboratoire central ont confirmé ce fait qui explique l'opinion généralement admise de la supériorité des lampes différentielles pour le réglage avec faible résistance en circuit.

Il résulte de ce que la lampe différentielle joue le rôle du régulateur d'intensité qui est utile pour faire cesser l'indétermination du débit sur un circuit ne renfermant pas d'autre résistance que celle des arcs.

Quand on examine le fonctionnement des lampes différentielles ainsi utilisées, on constate que sitôt que le débit tend à varier pour un motif quelconque, les régulateurs modifient les longueurs d'arc dans le sens convenable pour corriger la variation qui s'est produite. En un mot, pour maintenir l'intensité constante, la longueur des arcs est constamment modifiée. Sur des circuits alimentés très régulièrement et avec de bons crayons, ces variations continues ne sont pas gênantes en pratique, mais il semble peu rationnel de monter en série trois régulateurs d'intensité pour régler un courant unique. On obtiendrait un régime beaucoup plus stable avec un régulateur d'intensité sensible et indépendant des lampes, et en employant simplement des lampes munies d'électros en dérivation maintenant constante la différence de potentiel à chaque arc.

Avec la lampe Hegner, on utilise bien un régulateur d'intensité, mais cet appareil n'est pas établi de manière à assurer tout le réglage nécessaire.

Pour vérifier ce qui précède, une expérience a été faite au laboratoire, en employant comme régulateur d'intensité une lampe différentielle montée en circuit avec deux lampes à voltage constant. Le fonctionnement de l'ensemble a été satisfaisant et l'allure des courbes obtenues aux enregistreurs fait bien ressortir l'action de la lampe différentielle comme régulateur d'intensité. A chaque variation d'une des lampes à voltage constant tendant à produire une augmentation du débit, la lampe différentielle réagissait en sens contraire et inversement [1].

---

[1] La précision et la rapidité d'action des régulateurs, toujours fort utiles pour obtenir une lumière fixe et stable, sont indispensables dans le cas du fonctionnement sans rhéostat ou avec une résistance très faible.

Or, un mécanisme trop sensible produit des oscillations perpétuelles connues sous le nom de *pompage*. Depuis bien longtemps déjà, on a réussi à supprimer cet inconvénient par l'emploi d'amortisseurs. Aujourd'hui, l'amortisseur à air est en usage sur presque toutes les lampes.

L'action de l'amortisseur est surtout nécessaire au moment où la lampe écarte les crayons. Si, en effet, cet écart est fait trop brusquement, il peut atteindre une amplitude exagérée, par suite de l'inertie des pièces en mouvement, et l'arc est coupé. Cet inconvénient se produit souvent lorsque, à la suite d'une perturbation brusque dans l'arc, la lampe est amenée à rapprocher, puis à

L'amélioration de rendement que peut donner le fonctionnement des arcs avec faible résistance ne doit pas faire perdre de vue l'intérêt des solutions les plus usitées jusqu'ici, qui permettent une marche très stable et très sûre avec des appareils simples et robustes.

Dès que les canalisations ont une certaine longueur, il faut y consentir forcément une perte de charge notable pour limiter les frais de premier établissement et ces canalisations constituent ainsi les rhéostats convenables pour assurer la stabilité des arcs.

Ces considérations justifient bien l'emploi qui continue à être fait d'arcs montés par deux sur 110 ou 120 volts dans les installations courantes.

Ce régime permet de profiter des avantages très sérieux résultant de l'emploi, pour l'allumage et le réglage, d'un seul électro en dérivation. Les lampes établies sur ce principe sont très simples, elles ne risquent pas d'être brûlées par un courant exagéré, elles peuvent fonctionner à une intensité quelconque, ce qui rend facile le réglage de l'intensité de régime de chaque circuit, dans de grandes limites, tout en conservant l'uniformité absolue des lampes en service.

Grâce à une bonne appropriation des régulateurs, et aux dispositions prises pour améliorer l'utilisation de la lumière, les arcs sur courants alternatifs donnent de bons résultats. Toutefois, on ne peut jusqu'ici les utiliser sur les réseaux à trop faible fréquence.

Avec les circuits à courants alternatifs, il y a grand intérêt à employer des régulateurs dans lesquels le déplacement des noyaux dans les bobines de réglage soit aussi réduit que possible. En effet, comme l'a signalé M. Blondel, la self-induction dans ces bobines varie avec l'enfoncement du noyau ou le rapprochement de l'armature, de façon à compenser en grande partie la variation de courant que tend à produire dans la bobine une variation de la tension aux bornes. La sensibilité se trouve ainsi diminuée d'une manière notable.

C'est ce qui explique l'emploi de mécanismes délicats dont le déclenchement se fait très aisément pour les lampes destinées aux courants alternatifs. A ce point de vue, les lampes à frein semblent devoir donner la meilleure solution, car pendant la période de réglage le noyau ne subit aucun déplacement. Son action, résultant de la différence entre son poids et l'attraction magnétique, dépend simplement des variations de cette dernière.

La deuxième section s'est entièrement ralliée aux avis précédemment rappelés, en ce qui concerne l'arc en vase clos. La conclusion actuelle de la comparaison entre ce système et l'arc à bas voltage est à l'avantage du dernier régime, grâce aux soins et à l'habileté des constructeurs qui se sont attachés à établir des régulateurs assez parfaits pour assurer la stabilité de l'arc avec une résistance très faible en circuit.

écarter brusquement les crayons. Dans ces conditions, le piston de l'amortisseur est déplacé rapidement ; il produit, par exemple, une dépression brusque dans son cylindre, lorsque les crayons se rapprochent, puis il revient rapidement à sa position primitive, sans que l'air extérieur ait eu le temps de pénétrer dans le cylindre où la dépression subsiste, de telle sorte que l'amortisseur agit comme un ressort d'air et ne ralentit pas suffisamment le mouvement d'écart des crayons. Il est donc judicieux, comme le font MM. Vigreux et Brillié, de compléter l'amortisseur par des clapets permettant à l'air de rentrer dans la période d'aspiration, ce qui n'a aucun inconvénient et assure un amortissement énergique au commencement du recul, condition nécessaire pour une bonne stabilité.

M. Bardon atteint le même but en permettant à la tige qui actionne le piston de l'amortisseur de jouer librement, sur une certaine longueur, à travers ce piston. Si la tige s'abaisse brusquement, ce qui correspond à un rapprochement des charbons, le piston n'est pas entraîné de suite, ce qui évite l'inconvénient de la pression signalé précédemment. Dans le mouvement inverse, lorsque la tige remonte, ce qui correspond à l'écart des charbons, la tige entraîne immédiatement le piston de façon à produire un amortissement énergique.

Sur les lampes à double paire de charbons, par **Brillié**.

M. Brillié signale les résultats intéressants obtenus par l'emploi des lampes à air libre, à double paire de charbons et marchant sans résistance, tant au point de vue du rendement lumineux obtenu que de la durée d'éclairage.

Ces lampes, dont les deux paires de charbons brûlent successivement, permettent d'atteindre des durées de quarante heures ; et, employées avec des charbons de petits diamètres, elles permettent, tout en conservant une durée d'éclairage relativement longue, de réaliser une très grande économie dans leur fonctionnement.

(L'on sait, en effet, que le rendement lumineux des arcs croît considérablement lorsque, pour des charbons donnés, on augmente l'intensité du courant, ou que pour une intensité de courant donnée on diminue le diamètre des crayons).

La Compagnie d'Orléans a fait, après essais, une application importante de lampes de ce système pour l'éclairage de ses nouvelles gares de Paris (gare terminus du quai d'Orsay et gare Saint-Michel) et pour la transformation en cours de l'éclairage de la gare d'Austerlitz.

Le voltage initial a été choisi de façon à faire fonctionner les lampes sans résistance avec 40 à 42 volts aux arcs, conditions du maximum de rendement lumineux, et les lampes de type normal de trente-cinq à quarante heures ont été employées avec de très petits charbons permettant seulement une marche de vingt-quatre heures reconnue suffisante ; on a pu obtenir ainsi un rendement lumineux plus de trois fois supérieur à celui des arcs clos dont la consommation, qui atteint 3 watts par bougie [1], est comparable à celle des lampes à incandescence.

SOCIÉTÉ ALLEMANDE D'ÉLECTROCHIMIE

Congrès de Fribourg (suite) [2].

Sur l'énergie libre de formation de l'eau, et sur une nouvelle électrode sensible à la lumière, par le Dr **Emile Bose**, de Breslau, *Zeitschrift für Elektrochemie*, t. VII, p. 672, 30 mai 1901.

De nombreuses observations effectuées ces dernières années ont montré que la valeur 1,08 volt pour la force électromotrice qui correspond à la formation réversible de l'eau en partant des gaz oxygène et hydrogène, est sûrement trop faible. La raison principale de cette différence réside dans ce fait que l'état d'équilibre est très lentement atteint à l'électrode oxygène. Cet état d'équilibre exige d'une part la complète saturation du métal de l'électrode inattaquable par l'oxygène et d'autre part une certaine concentration en eau oxygénée.

Voici les valeurs trouvées par différents observateurs :

Smale :	Acides	1,073 volt	
	Bases	1,094 »	
Bose I		1,106 »	
Wilsmore		1,120 à 1,121	à 25°
Czepinsky		1,120	
Bose II	moyenne	1,1227	à 25°
	maximum	1,1242	à 25°

La courbe 3 de la figure 1 montre l'allure

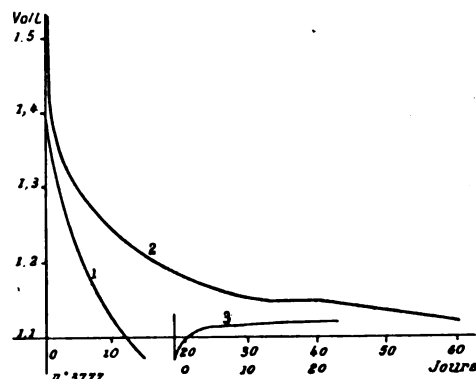


Fig. 1.

lentement croissante de la force électromotrice. Pour avoir une limite supérieure, on chargeait l'élément pendant très longtemps à une petite densité de courant et on suivait ensuite le cours de la force électromotrice. Le temps de charge devait être très long. Ainsi, pour une surface d'électrodes de platine platiné de 450 cm², une charge à 0,002 ampère pendant 5 jours n'était pas suffisante et la saturation n'était pas atteinte ainsi que l'indique la courbe 1 de la figure 1 : après 13 jours, la force électromotrice était descendue au-dessous de la valeur donnée par la courbe 3.

Après une charge de 19 jours à 0,008 ampère, on obtenait pour l'allure de la force électromo-

---

(1) Ce chiffre résulte des essais faits par MM. Eric Gérard et de Bast (*Bulletin de Montefiore*, t. X, p. 197, 1898-1899 ; *Écl. Élect.* t. XIX, p. 315) qui ont trouvé pour une lampe de 4,5 ampères, sous 108 volts :

	Globe frais.	Après 103 heures de marche.
Watts par bougie décimale moyenne sphérique	2,9	3,71
Watts par bougie décimale moyenne hémisphérique inférieure	2,45	3,047

Des essais faits au Laboratoire central d'Electricité de Paris, ont donné des résultats concordant bien avec le précédent : 2,95 et 3,2 watts par bougie décimale pour chacune des deux lampes essayées, la bougie décennale étant prise égale à 1,13 étalon Heffner.

(2) Voir *L'Éclairage Électrique* des 20 et 27 juillet, t. XXVIII, p. 111 et 143.

trice, la courbe 2 (fig. 1). Vers le trente-deuxième jour, on trouvait une période d'une dizaine de jours pendant laquelle la force électromotrice restait très sensiblement constante et pouvait être considérée comme une valeur limite supérieure du couple hydrogène-oxygène. La valeur de cette limite supérieure était à 25° C et à la pression 760 mm de mercure, E = 1,1542 volt.

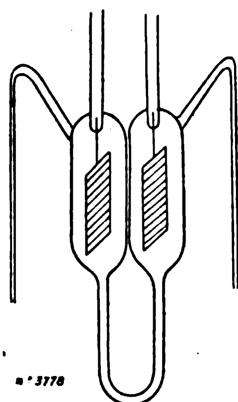
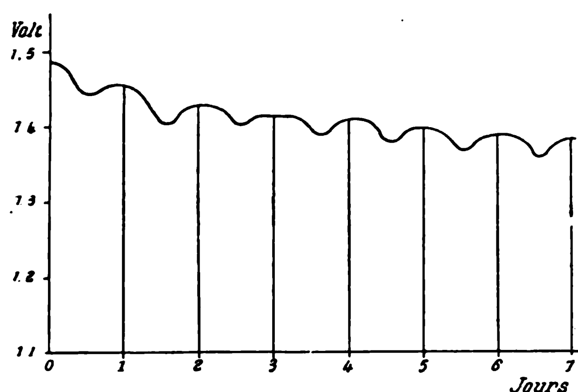


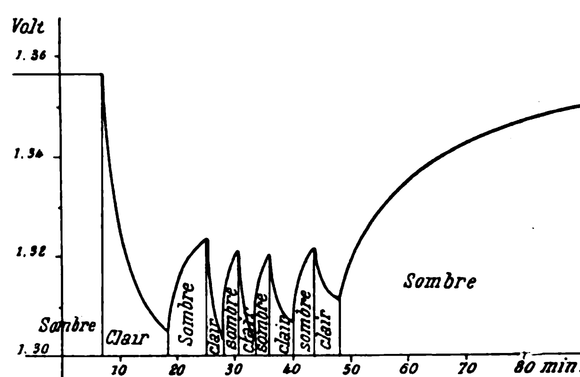
Fig. 2.

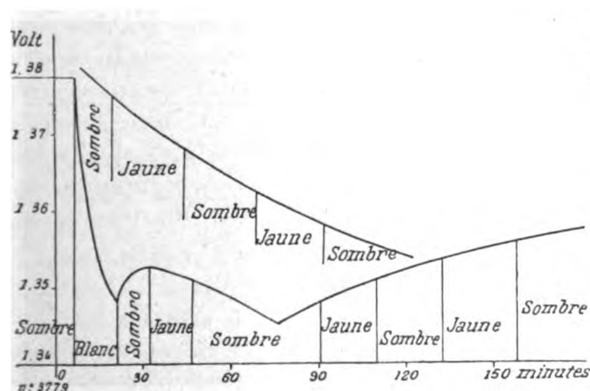
D'autre part, la limite inférieure précédemment trouvée était E = 1,242 volt.

On a ainsi E = 1,1392 ± 0,0150 volt correspondant à 52 654 ± 693 calories.

Pour déterminer l'influence des électrodes, l'auteur avait construit aussi un élément avec électrodes en or. Les deux compartiments étaient reliés (fig. 2) par un tube capillaire. Deux autres tubes capillaires servaient au dégagement des gaz. L'élément, rempli d'acide sulfurique pur étendu, était chargé pendant 16 jours à une densité de courant de 0,054 ampère : dm², soit ici 0,018 ampère. Dans ces conditions, on observe, à l'anode, une couche transparente jaune rou-







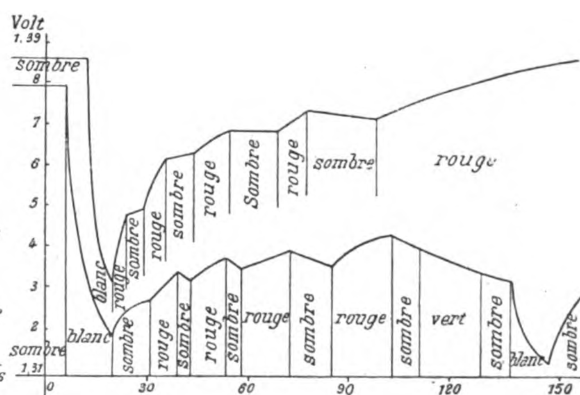


Fig. 3 à 6.

geâtre que Streinz a déjà observée et qu'il considère comme un hydrate d'oxyde.

A la cathode, le métal devient spongieux, il augmente considérablement de volume et montre

finalement une belle couleur brune semblable à celle de l'or précipité par les sels ferreux.

En déterminant comme précédemment l'allure de la force électromotrice après arrêt de la charge, l'auteur a constaté des variations périodiques, la durée de la période étant un jour et la force électromotrice la plus faible correspondant au maximum de clarté. La figure 3 montre l'allure de la courbe.

Cette sensibilité à la lumière réside uniquement à l'anode où se trouve la couche rougeâtre.

La figure 4 se rapporte à des variations produites par éclairements périodiques à l'aide d'une lampe à arc. Dans chaque cas, l'électrode tend asymptotiquement vers un nouvel état d'équilibre. La figure 5 indique l'influence de la flamme du sodium. Ici, les périodes successives de clarté et d'extinction ne font pas varier du tout la force électromotrice. Il en est de même pour la lumière verte. L'extrémité violette du spectre visible fait baisser la force électromotrice; les rayons ultra-violets ne jouent aucun rôle important. Quant aux rayons rouges ou infra-rouges, ils ont une action absolument opposée à celle des rayons violets et tendent à augmenter la force électromotrice, comme on peut le voir d'après la figure 6.

Discussion. — Le professeur Abeg fait remarquer que c'est là une preuve intéressante d'une ancienne supposition que la lumière rouge agit dans certaines circonstances différemment de la lumière violette. En science on est porté à ne considérer qu'une différence quantitative dans les actions de ces deux lumières. Ici, c'est bien une action contraire qui est observée.

Actions électrochimiques sur l'acétylène,

par le Dr **Alfred Cœhn**, de Gœttingue. *Zeitschrift für Elektrochemie*, t. VII, p. 681, 6 juin 1901.

En collaboration avec le Dr Billitzer, l'auteur a recherché d'abord les actions oxydantes. Si on électrolyse une lessive alcaline dans laquelle on a introduit à l'anode de l'acétylène, il se produit de l'acide carbonique, de l'acide formique et de l'oxygène.

La détermination du potentiel de décharge de l'oxygène dans la lessive alcaline est donnée par la courbe I de la figure 1. La courbe II montre la dépolarisation obtenue par l'acétylène. Le potentiel correspondant à cette dépolarisation est compris entre 1,21 et 1,22 volt. Ce

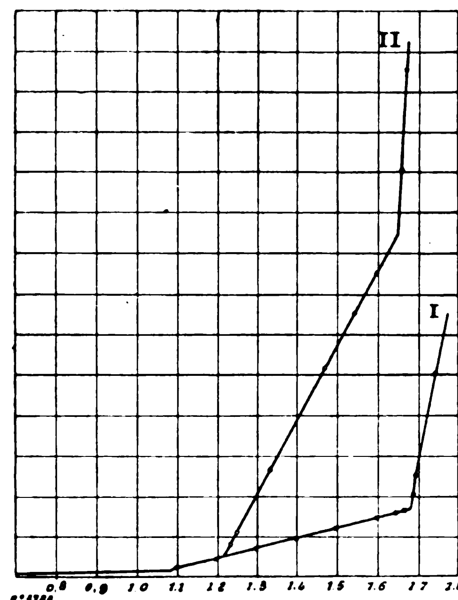


Fig. 1.

point de brisure correspond évidemment à une action électrochimique; on a constaté que cette partie de la courbe correspondait uniquement à la formation d'acide formique. Ainsi en électrolysant sous une tension de 1,35 volt, en mesurant la quantité d'électricité à l'aide d'un voltamètre à argent et en dosant l'acide formique par réduction de $HgCl^2$ en Hg^2Cl^2, on trouvait les valeurs suivantes :



MESURE	ANALYSE	RENDEMENT
I — 0,7436 Ag correspondant à 0,108 HCO^2H	0,105 HCO^2H	0,972
II — 0,9320 Ag » » 0,1336 »	0,1318 »	0,987
III — 0,6201 Ag » » 0,0889 »	0,0853 »	0,959

qui montrent que l'équation chimique

$$C^2H^2 + 6OH = 2HCOOH + 2H^2O$$

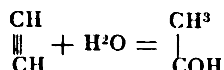
se produit alors.

Si on élève la tension au-dessus du deuxième point de décomposition, on trouve une baisse de rendement en acide formique.

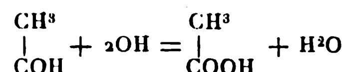
C'est ainsi qu'on a avec 2 volts,

MESURE	ANALYSE	RENDEMENT
0,8440 Ag correspondant à 0,1115 HCO^2H	0,0695 HCO^2H	0,623

En remplaçant la solution alcaline par de l'acide sulfurique normal, on abaisse le potentiel de décharge de l'oxygène à 0,19 volt en moyenne; mais contrairement au cas précédent, cette valeur n'est pas régulière et peut varier de quelques centièmes de volt. Ici, en effet, la dépolarisation n'est pas simple et les actions qui se produisent peuvent dépendre des circonstances. L'analyse montre d'ailleurs qu'il ne se produit pas d'acide formique, mais de l'acide acétique. Ces faits sont explicables par la formation de l'aldéhyde lorsqu'on introduit de l'acétylène dans l'acide sulfurique



C'est ce produit intermédiaire qui est ensuite oxydé par l'électrolyse et donne l'acide acétique d'après l'équation



La dépolarisation, à 0,19 volt, provient donc de l'aldéhyde. Cependant Dony-Hénault a constaté antérieurement que l'addition d'aldéhyde à l'acide sulfurique ne fait pas baisser le potentiel de décharge de l'oxygène. On peut remarquer à ce propos que l'aldéhyde ajouté n'est pas identique à l'aldéhyde naissant et qu'il se polymérise rapidement en paraldéhyde.

Des déterminations quantitatives ont été effectuées en électrolysant un volume déterminé d'acide sulfurique décinormal dans lequel passait l'acétylène. Après l'électrolyse on dosait l'acide acétique par variation de titre. On obtenait ainsi les résultats ci-dessous :

AVEC 1,60 VOLT		
MESURE	ANALYSE	RENDEMENT
0,734 Ag correspondant à 0,2058 CH^3CO^2H	0,2051 CH^3CO^2H	0,997
0,943 Ag » 0,2644 »	0,2673 »	1,011
0,758 Ag » 0,2126 »	0,2125 »	0,9999
AVEC 2,50 VOLTS		
0,791 Ag » 0,2218 »	0,1047 »	0,472

Le rendement baisse, ainsi qu'on le voit, dès que la tension atteint la limite supérieure déterminée.

L'auteur donne ensuite quelques détails sur l'action électrolytique des halogènes sur l'acétylène. En solution alcaline, on obtient une forte dépolarisation mais qui ne provient pas de l'action primaire de l'halogène, car il se forme d'abord les hypochlorites. Par contre, en solution acide, avec les trois halogènes, l'introduction d'acétylène ne donne aucune dépolarisation sensible.

Par addition de tribromure de phosphore au chlore, au brome ou à l'iode, on ne produit aucune variation sensible du potentiel de décharge de ceux-ci. Mais si on introduit alors de l'acétylène, on obtient une dépolarisation très nette comme l'indiquent les figures 2 et 3. Ces courbes montrent nettement que dans les deux cas il se forme deux produits différents alors qu'on pouvait s'attendre à un seul produit.

Sur les actions réductrices, l'auteur ne donne ici aucun détail; il mentionne simplement l'influence de la substance employée à la cathode. A une question du docteur Bredig, il répond qu'il n'a obtenu aucun produit de réduction en

solution acide, mais seulement en solution ammo-

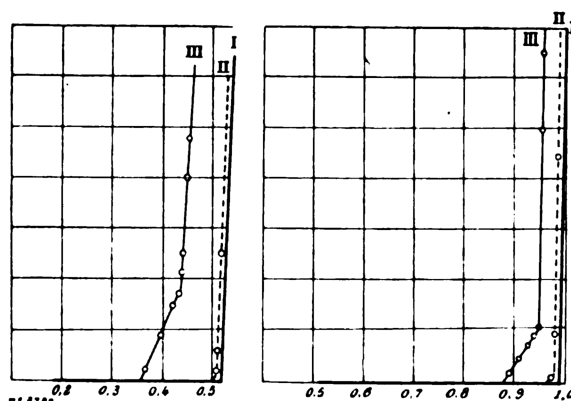


Fig. 2 et 3.

niacale et que les recherches dans cette voie ne sont pas encore terminées.

Sur la validité de la loi d'action des masses pour les électrolytes forts, par le **Dr H. von Steinwehr**, de Clausthal, *Zeitschrift für Elektrochemie*, t. VII, p. 685, 6 juin 1901.

Jahn (1) a déjà démontré cette validité en faisant quelques hypothèses vraisemblables. L'auteur traite le problème d'une manière toute différente de celle de Jahn.

On sait que la dissolution des électrolytes provoque une contraction du dissolvant. Pour une étude thermodynamique, il est indifférent de savoir par quelles forces est provoquée cette contraction si on connaît la relation entre la dissociation et la variation de volume. Pour un certain nombre d'électrolytes faibles, la grandeur de la variation de concentration peut se déterminer expérimentalement par la dissociation. Fanjung (2) a indiqué pour les acides faibles une variation moyenne de volume de 10 cm^3 environ. Les variations de volume déduites des poids spécifiques s'accordent bien avec cette valeur.

Comme tous les électrolytes forts (le chlorure d'ammonium excepté) donnent des solutions d'un poids spécifique plus élevé que celui calculé d'après le sel dissous dans l'eau, et comme de plus quelques-unes de ces solutions montrent un volume plus petit que celui de l'eau contenue,

(1) *Zeitschr. f. physical Chemie*, t. XXXIII, p. 545.

(2) *Zeitschr. f. physical Chemie*, t. XIV, p. 673.

il est très vraisemblable que la contraction soit supérieure à 10 cm^3 pour les électrolytes forts. Il n'est pas possible de mesurer directement cette contraction car on ne peut effectuer de solutions non dissociées avec ces électrolytes. On doit donc déterminer cette grandeur par une méthode indirecte.

On appellera ici pression totale celle qui règne à l'intérieur d'une solution, cette pression étant composée de la pression extérieure et de la pression intérieure.

L'équation pour la constante d'équilibre d'un électrolyte binaire prend la forme

$$K = \frac{\left[c_1 + \frac{dc_1}{dp}(p_1 - p_0)\right]^2}{c_0 + \frac{dc_0}{dp}(p_1 - p_0)}$$

ou plus simplement

$$K = \frac{\left[\alpha + \frac{d\alpha}{dp}(p_1 - p_0)\right]^2}{v\left[1 - \alpha - \frac{d\alpha}{dp}(p_1 - p_0)\right]}$$

$p_1 - p_0$ représentant ici la variation de la pression intérieure.

La substance dissoute exerce sur le dissolvant une compression qui agit sur l'équilibre comme une augmentation de la pression extérieure.

L'influence de cette pression a été déterminée par Planck (1) qui a trouvé la formule

$$\frac{d \log_{nép} k}{dp} = + \frac{\Delta v}{RT}$$

dans laquelle Δv représente la diminution de volume qui survient lorsqu'une molécule de substance non dissociée se décompose en ses ions. Si on intègre en supposant que le côté gauche de l'équation reste constant pour un grand intervalle, on a

$$RT \log_{nép} K_1 - RT \log_{nép} K_2 = (p_1 - p_2)\Delta v.$$

La formule de Plank permet de déterminer l'élévation de pression qui résulte de la dissolution d'un sel dans un dissolvant. Ces augmentations de pression sont exprimées dans le tableau ci-dessous. En supposant que la dissociation provoque une augmentation de pression de 1 000 atmosphères environ, ce qui s'ac-

(1) *Wied. Ann.*, t. XXXII, p. 489.

corde avec les valeurs du tableau, on trouve $\Delta v = 0{,}05$ litre environ.

L'auteur a effectué le calcul des constantes pour les électrolytes NaCl et KCl. Le tableau donne les valeurs de K corrigées et non corrigées d'après les mesures de conductibilité.

Acide acétique $K = 1{,}80 . 10^{-5}$.

NaCl v = ...	8	20	40	80	133
Acide acétique α : plus grand p. 100. . . .	18	13,2	8,7	3,8	3,0
Acide acétique : $K\,10^5$ =	2,51	2,31	2,13	1,94	1,91
Augmentation de la pression intérieure, en atmosphères . .	739	554	372	165	130
NaCl K non corrigé.	0,479	0,289	0,192	0,138	0,107
NaCl K corrigé. . .	0,102	0,091	0,088	0,098	0,082
KCl K non corrigé.	0,551	0,335	0,221	0,145	0,109
KCl K corrigé. . .	0,117	0,105	0,102	0,103	0,083

Sur la séparation simultanée du fer et du nickel des mélanges de solutions de leurs sulfates, par **F. W. Küster**, de Clausthal. *Zeitschrift für Elektrochemie*, t. VII, p. 688, 6 juin 1901.

Dans une communication à la précédente assemblée générale [1], l'auteur a déjà donné le résultat de ses premières recherches relatives à la tension cathodique de décomposition des sulfates de fer et de nickel. Pour des concentrations de sulfate comprises entre la solution normale et la solution centinormale et des teneurs en acide sulfurique variant de 0 à la teneur décinormale, il a trouvé la différence presque constante 0,1 volt entre les solutions correspondantes de fer et de nickel, ce dernier se séparant le plus facilement.

Étendant ses mesures au sulfate de zinc, Küster a trouvé les valeurs exprimées dans le tableau suivant

SULFATE de zinc.	ACIDE SULFURIQUE 0	0,01	0,1
	TENSION DE DÉCOMPOSITION		
1,0	1,110	1,125	1,132
0,1	1.14	1,20	1,18
0,01	1,18	1,28	1,29

[1] *L'Éclairage Électrique*, t. XXVI, p. 458, 23 mars 1901.

et qui montrent que pour le zinc, le point de décomposition est toujours plus élevé de 0,1 volt environ que celui du fer.

Toutes ces mesures étaient effectuées avec un fil de platine comme cathode.

Pour suivre quantitativement la séparation électrolytique, il fallait employer des électrodes à plus grande surface; on a pris ici des plaques de platine de 18 cm² de surface des deux côtés. Dans ces conditions, le point de décomposition est moins élevé qu'avec le fil ainsi que l'indiquent les valeurs ci-dessous

	Plaque.	Fil.
0,1 $FeSO^4$; 0,01 H^2SO^4	0,96	1,024
0,1 $NiSO^4$; 0,01 H^2SO^4	0,792	0,925

Avec des solutions exemptes d'acide sulfurique, les deux valeurs sont beaucoup plus rapprochées, ainsi le fer donne

	Plaque.	Fil.
0,1 $FeSO^4$; pas de H^2SO^4	0,925	0,950

Elles diffèrent encore un peu parce que les solutions de fer contiennent encore par hydrolyse suffisamment d'ions hydrogène pour provoquer une augmentation du point de décomposition.

En prenant le mélange des sulfates, on obtient

	Plaque.	Fil.
0,1 $NiSO^4$; 0,1 $FeSO^4$; 0,01 H^2SO^4	0,796	0,928

et les tensions de séparation sont ainsi pratiquement les mêmes, dans les deux cas, que celles données par la solution de sulfate de nickel exempte de fer.

Un grand nombre de mesures ont été effectuées pour déterminer ce qui se sépare vers le point de décomposition du nickel. A cet effet, on maintenait constant, pendant une heure environ, le potentiel cathodique. Après cette opération, on notait l'augmentation de poids; puis l'électrode étant traitée par de l'acide sulfurique, à 18 p. 100, on titrait, dans la solution, le fer à l'aide du permanganate. On faisait varier successivement la tension de 0,01 à 0,02 volt. L'expérience montrait alors qu'au point de décomposition du nickel, on obtenait déjà un dépôt de quelques dixièmes de milligrammes, dépôt

augmentant ensuite avec les tensions croissantes.

Mais le précipité ne renfermait pas encore de fer; celui-ci ne faisant son apparition, et en quantité inférieure au nickel, que pour une tension comprise entre le point de décomposition du nickel et celui du fer. Ces résultats sont en désaccord avec ceux de Tœpffer qui trouvait que la quantité de fer augmentait dans le dépôt nickel-fer lorsqu'il diminuait la tension et de telle sorte qu'en extrapolant la courbe, pour un courant nul, le précipité devait être du fer pur. Mais Tœpffer n'avait pas poussé ses mesures au-dessous de 7,5, 10^{-3} amp. : cm^2.

Pour répéter les expériences de Tœpffer, l'auteur a d'abord préparé des solutions décinormales de sulfate ferreux et de sulfate de nickel, toutes deux centinormales en acide sulfurique. De celles-ci, il a fait différentes solutions renfermant 10, 20, 40, 60, 80 et 90 p. 100 de fer. Les densités de courant employées variaient entre 0,00085 et 0,0067 amp. : cm^2 et baissaient ainsi presque jusqu'au point de décomposition du nickel. Les tensions totales des bains variaient de 4,75 à 16 volts. Avec des tensions croissantes, on trouve d'abord que le fer ne se sépare qu'en quantité considérablement moindre que le nickel, puisque la teneur en pour cent de fer augmente brusquement jusqu'à un maximum, pour tomber ensuite légèrement.

La nature du précipité était tout à fait différente dans le cas des basses tensions et dans celui de la brusque élévation de la teneur. Dans le premier cas, le dépôt était gris mat, avec de fins points noirs. Au-dessus de 7 volts (0,014 amp. : cm^2), les dépôts sont polis et d'autant plus brillants que la teneur en fer du dépôt s'approche davantage de 75 p. 100, proportion qui est atteinte avec une solution à 50 p. 100 de fer. Pour une tension de 5 à 16 volts, on trouve des pourcentages de fer entre 74,5 et 77,6, de sorte qu'il est possible d'admettre la séparation de la combinaison Fe^3Ni. Le potentiel de cet alliage était mesuré dans une solution demi-normale en sulfate de nickel et demi-normale en sulfate de fer à l'aide de l'électrode normale; on trouvait ainsi 0,600 volt environ pendant plusieurs jours alors que les électrodes de fer tombaient de 0,7 volt à une valeur inférieure à celle de l'alliage, et que les électrodes de nickel montaient d'une valeur inférieure à 0,1 volt jusque 0,55 volt environ.

Pour des solutions qui renferment plus de 10 p. 100 et moins de 90 p. 100 de fer, on trouve que le dépôt renferme environ 20 à 25 p. 100 de fer de plus que la solution. La solution à 10 p. 100 de fer donne un dépôt ayant au maximum 28 p. 100 de fer et celle à 90 p. 100, un dépôt à 98 p. 100.

Pour les faibles tensions, le fer se sépare toujours en moindre quantité que le nickel, même pour des solutions d'une teneur en fer prédominante.

L'augmentation avec les fortes intensités peut s'expliquer si on tient compte de la résistance de séparation qui entre en jeu avec les vitesses croissantes. La loi serait ainsi analogue à celle des réactions chimiques. Nernst a indiqué une loi semblable à la loi d'Ohm.

$$\text{vitesse} = \frac{\text{Force chimique}}{\text{Résistance chimique}}.$$

Par exemple, si on électrolyse dans les mêmes conditions de temps, de tension et de densité de courant deux solutions séparées décinormales, l'une en SO^4Ni, l'autre en SO^4Zn et toutes deux centinormales en acide sulfurique, on trouve que le rapport $\frac{\text{gr. de zinc}}{\text{gr. de nickel}}$ baisse de 5,9 à 3,5 pour des densités de courant de 0,003 à 0,011 amp. : cm^2.

Il se sépare ainsi toujours beaucoup plus de zinc que de nickel et le rapport $\frac{H^2}{Zn}$ est trouvé beaucoup plus petit que $\frac{H^2}{Ni}$.

Dans le cours d'une réaction, il n'y a donc pas seulement à tenir compte de l'énergie libre, mais aussi des résistances qui lui sont opposées et qui sont d'autant plus importantes que la réaction est plus rapide. Dans la séparation du fer et du nickel ou du zinc et du fer, les résistances à vaincre sont d'autant plus grandes que le métal est plus noble, ce qui explique les faits signalés ci-dessus.

L. Jumau.

Le Gérant : C. NAUD.

Tome XXIX. Samedi 12 Octobre 1901. 8e Année. — N° 41.

L'Éclairage Électrique

REVUE HEBDOMADAIRE DES TRANSFORMATIONS

Électriques — Mécaniques — Thermiques

DE

L'ÉNERGIE

APPLICATIONS MÉCANIQUES DE L'ÉLECTRICITÉ (1)

Il est inutile d'insister de nouveau, dans ce recueil, sur les avantages que présente la *commande des machines-outils* par l'électricité; la cause de ce nouveau progrès est aujourd'hui bien gagnée et nos lecteurs ont été tenus bien au courant de cette intéressante application de l'électricité; j'insisterai néanmoins encore une fois sur l'un des principaux avantages de cette commande des machines-outils : la mobilité extrême qu'elle procure à ces machines.

On sait, en effet, que rien n'est plus difficile que de construire et de bien outiller un atelier en vue de la moyenne des travaux dont il devra probablement s'occuper; on peut même dire que ce problème est, rigoureusement parlant, insoluble par la raison bien simple qu'il est presque impossible de déterminer avec quelque chance d'exactitude cette moyenne de travaux, tant sont rapides de nos jours les transformations de toutes les industries. Les constructeurs de moteurs à gaz, par exemple, ne s'attendaient pas, il y a quelques années, à être appelés à construire, pour le service des hauts-fourneaux, des moteurs de 1 000 et 2 000 chevaux, exigeant un outillage et des dispositions d'atelier tout différents de ceux à prévoir pour des moteurs de bien moindre importance; il en a été de même pour les constructeurs de dynamos, et, sans aller jusqu'à de pareilles extrémités, il est bien évident que chaque constructeur est sujet à recevoir très fréquemment des commandes pour la bonne exécution desquelles il aurait grand intérêt à pouvoir modifier la disposition des différentes machines de son atelier.

(1) *L'Éclairage Électrique* du 20 avril 1901, t. XXVII, p. 103.

Souvent aussi le constructeur doit entreprendre la construction de très grandes pièces de machines, exigeant l'exécution de travaux les plus divers : alésage, perçage, fraisage, rivetage, et comme ces grosses pièces sont à la fois très lourdes et très encombrantes, on voit de suite à quels dangers et surtout à quelles pertes de temps et à quelles causes d'erreurs de montage et d'exécution, exposent de pareilles manutentions dans le cas où il faut, à chaque changement de travail, transporter ces pièces d'une machine-outil sur une autre. On évite bien, mais en partie, ces inconvénients par une bonne installation du service de ces manutentions, et surtout par l'emploi de machines-outils plus ou moins universelles, à

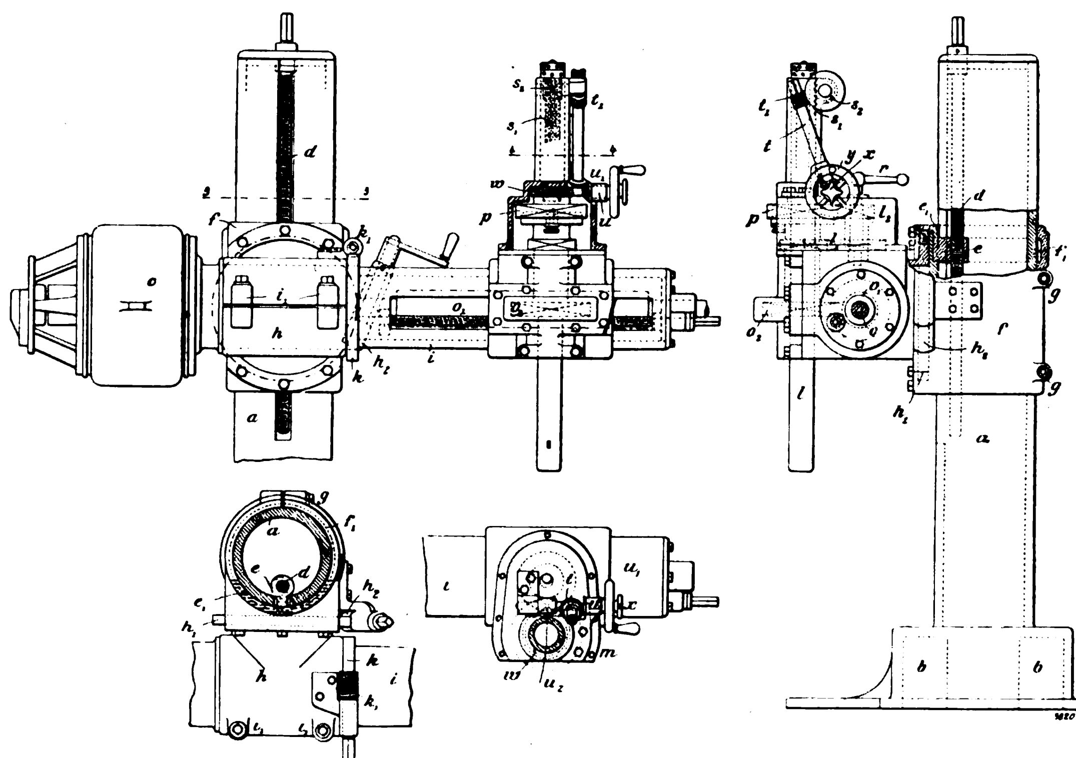


Fig. 1 à 4. — Perceuse Hopkinson.

très large table, sur laquelle on peut installer les plus grosses pièces et leur faire subir sans les déplacer de nouveau un grand nombre d'opérations ; mais, outre que ces machines ne peuvent jamais répondre à tous les cas, elles seront très coûteuses et difficilement utilisables avec profit pour les travaux de moyenne importance, de sorte que, dans bien des cas, elles représentent un capital important, qui souvent sommeille, et ne rapporte pas, il s'en faut de beaucoup, autant que celui consacré à l'achat de machines-outils moyennes, bien plus souvent occupées.

Or, imaginez un atelier dont le sol serait constitué presque tout entier par une immense plaque de fonte, avec rainures d'attaches en damier, sur laquelle on pourrait par conséquent disposer n'importe où, grâce à un système de ponts roulants couvrant toute la surface de l'atelier, et les pièces à travailler et les machines-outils destinées à ce travail. S'agit-il, par exemple, d'une de ces grandes armatures de dynamos-volants, on amènera l'énorme masse au point que l'on jugera le plus convenable de l'atelier, puis, autour d'elle et dans son intérieur, on disposera les machines-outils d'espèces et en nombre voulus pour

pouvoir exécuter sur l'armature, sans la déplacer et très vite, les différents travaux qu'elle exige, aussi bien que sur la grande machine-outil spéciale ; puis, quand on aura ainsi traité toute la série des armatures semblables de la série en cours, rien ne sera plus facile que de redistribuer en vue d'un autre travail, et dans un ordre tout différent, les machines-outils dont le groupement vient de servir à ces travaux.

On dispose ainsi d'un atelier indéfiniment transformable, comme un jeu d'échecs, en outre, facilement extensible, puisque l'électricité supprime toute difficulté de transmission de la force motrice, et qui permet d'exécuter, avec des machines-outils usuelles et toujours utilisables, des travaux qui exigeraient, sans cela, des machines très coûteuses, qu'un changement dans le type des commandes peut rendre presque inutiles, et qui sont, en tout cas, moins souples, moins adaptables à toutes les circonstances que le groupement élastique dont nous venons de parler.

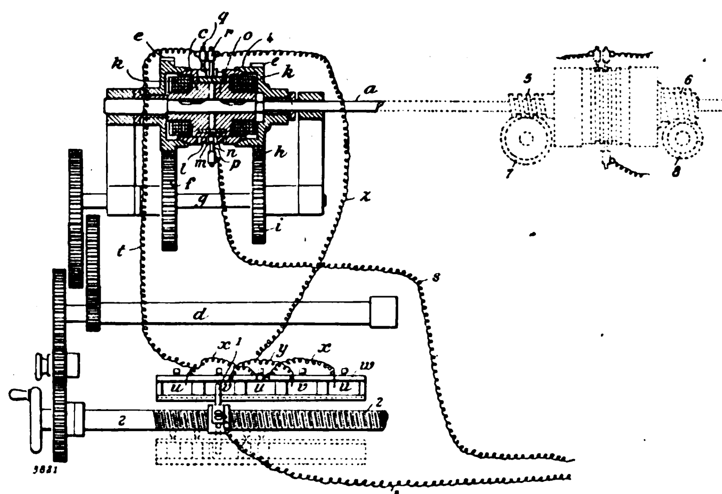


Fig. 5. — Commande électromagnétique Liebert pour machines-outils.

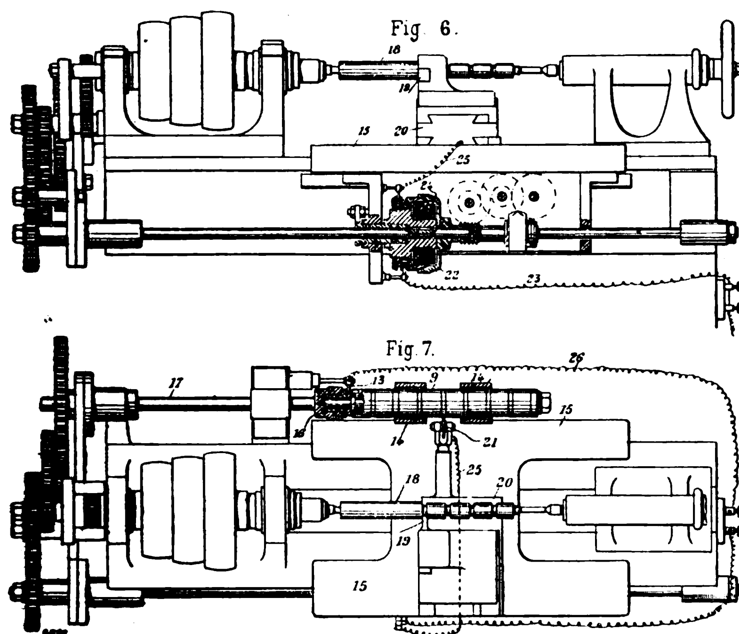


Fig. 6 et 7. — Tour à commande Liebert.

Ce mode d'établissement des ateliers de constructions mécaniques commence à se répandre, principalement en Amérique et en Allemagne ; j'en ai donné de curieux exemples dans une communication au *Congrès de mécanique de 1900* [1].

Nous allons maintenant décrire quelques types nouveaux de machines-outils légèrement transformées en vue de leur commande par l'électricité.

La perceuse de M. E. Hopkinson a (fig. 1 à 4) son arbre radial o commandé directement par une dynamo c, qui équilibre en partie le poids du bras radial autour de sa colonne, et cet arbre radial o commande le porte-forêt l par le train hélicoïdal o_1 o_2 et la transmission réductrice ordinaire l_1 l_2 p, que l'on peut débrayer par r, pour marcher à grande vitesse,

[1] Conférence sur la machine-outil moderne, Paris, Dunod, 1901.

après avoir embrayé o_2 avec p. L'avance de l'outil est commandée, de l, par la vis sans fin l_1 et le train l_2 uu_1 tt_1 s_1s_2, débrayable par x.

La transmission héliçoïdale à la main h_2h_1 commande l'orientation du bras sur la sellette f, et celle k_1k l'orientation autour de son axe, avec serrage par les vis i_1; la levée du bras sur sa colonne est commandée par la vis d, à écrou e, portant le collier f par sa fourche e_1, avec jeu f_1, permettant la rotation de f, qui est ensuite serré sur a par gg.

La colonne a est, à sa base, entourée par un électro-aimant b en dérivation sur le circuit du moteur, et qui fixe la colonne sur sa base dès que l'on admet le courant au moteur.

M. Liebert emploie, pour commander l'arbre des avances a (fig. 5) des machines-

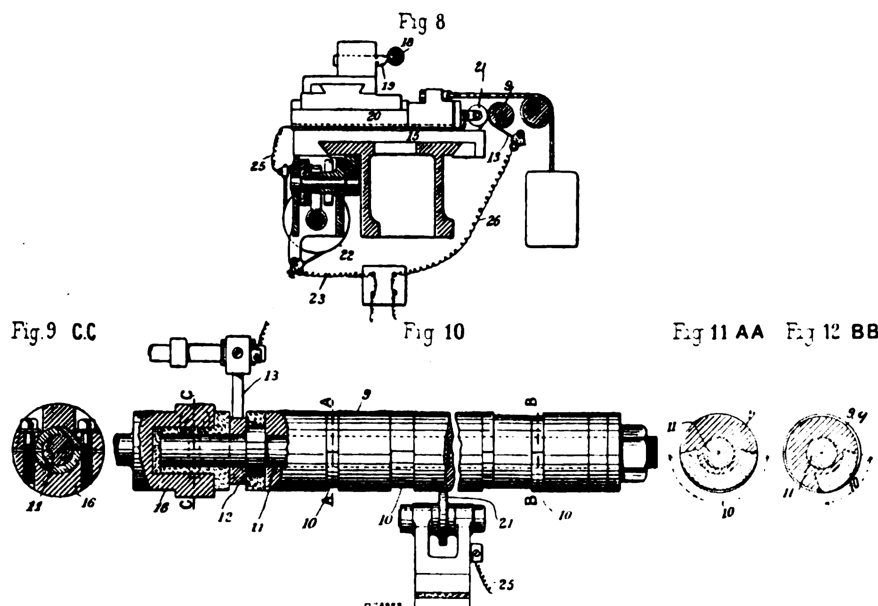


Fig. 8 à 12. — Détails des pièces de la commande électrique Liebert.

outils, d'un tour par exemple, un embrayage électro-magnétique k, avec pignons ee, fous sur a, et menés en sens contraires par le pignon f et par le train ih du harnais. Les armatures c et o, rainurées sur a embrayent par 4 l'un ou l'autre des pignons e, suivant que l'on fait passer le courant dans l'un ou l'autre des électros k; à cet effet ces électros sont reliés à trois anneaux, l, m et n, à balais p, q et r, reliés : p à la pile par s; q, par t et x, aux contacts uu, ajustables sur la barre isolante w, et r, par z et y, aux contacts vv; la vis 2, commandée par d, promène sur u et v la touche 1, reliée par 3 à la pile, et qui embraye l'un ou l'autre des pignons e suivant qu'elle passe sur u ou sur v.

L'avance transversale du chariot peut, de même, être commandée par deux vis sans fin 5 et 6, embrayables électriquement sur a, et en prise chacune avec le pignon 7 ou 8 de l'une des vis transversales du chariot.

En figure 6 à 12, le commutateur est constitué par un cylindre métallique 9, à cames 10, isolantes et fixées à l'arbre métallique 11, qui reçoit le courant du balai 13 par l'anneau 12; ce cylindre est isolé dans le palier 14 du chariot 15, et mis en rotation par le chuck 16 de l'arbre 17, commandé par le harnais. Le chariot porte-outil 20 a son galet 21 constamment appuyé par un contre-poids sur le cylindre 10, dont l'outil reproduit le profil en 18. A cet

effet, l'embrayage électro-magnétique 22-24 est relié par 26 et 25 au balai 13 et au galet 21 de manière que l'avance du chariot 15 est interrompue quand le galet 21 passe sur une des cames isolantes 10, et en fait ainsi tracer le profil par l'outil 19, tandis que cette avance fonctionne, au contraire, quand 21 est au contact des parties métalliques et cylindriques 9 du commutateur, qui se trouvent de même reproduites en 18.

Le dispositif proposé par M. WAYLAND SMITH pour le réglage automatique des laminoirs de précision est facile à comprendre d'après les figures schématiques 13 à 18. La tôle passe du laminoir *b*, dont l'écartement des cylindres *a* est réglé par la dynamo *j*, qui commande les vis *c* par le train *ihed*, au contrôleur *p*, dont le cylindre mobile *m* se soulève plus ou moins en suivant les irrégularités de la tôle 17. Ce cylindre commande par sa crémaillère *q* l'aiguille d'un quadrant indicateur *t* et celle *z* d'un commutateur 33; en outre, un galet 16, qui porte sur la tôle, ferme en 10 le circuit de ce commutateur sur *z* dès que la tôle arrive en *p*. On commence par régler, par l'aiguille *y*, l'écartement des cylindres de *p* à l'épaisseur voulue pour la tôle 17, puis le bras *z* du commutateur 3, de manière que, pour cet écartement des cylindres de *p*, il soit juste entre ses deux contacts; dès alors que l'épaisseur de la tôle varie, le cylindre contrôleur *m*, s'élevant ou s'abaissant, ferme le contact de *z* à droite ou à gauche, envoie ainsi le courant de la pile 12 dans l'électro-aimant 6 correspondant qui fait mouvoir en conséquence, et par son armature 13, le commutateur *l*, lequel envoie dans la dynamo *j* le courant qu'il faut pour la faire tourner dans le sens voulu pour le rétablissement du laminage à l'épaisseur exacte.

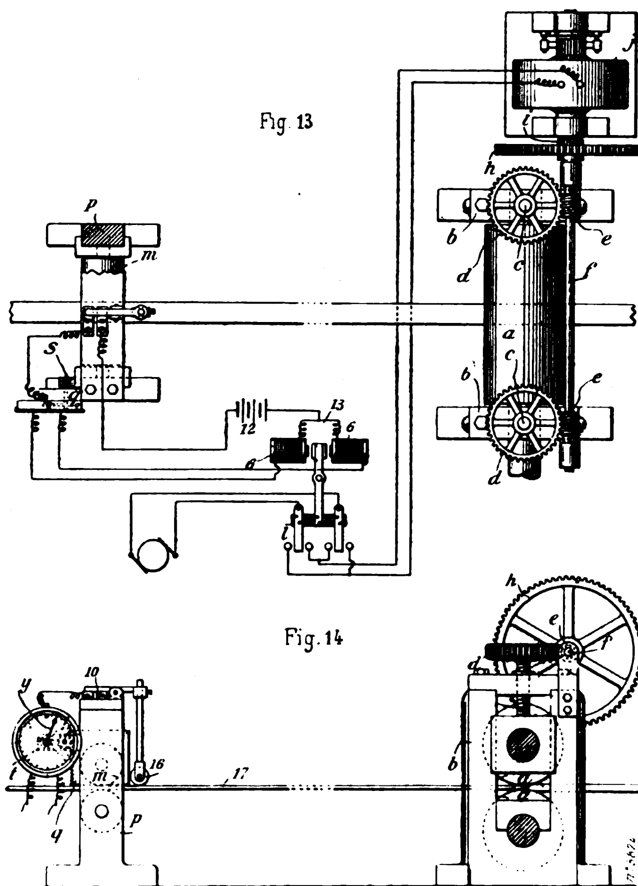


Fig. 13 et 14. — Système Wayland Smith pour le réglage automatique des laminoirs.

La commande par l'électricité a été, comme le savent nos lecteurs, depuis longtemps appliquée avec succès aux pompes, principalement aux pompes centrifuges et rotatives ; ce fut même l'une des premières applications véritablement industrielles de la puissance électrique, notamment dans les mines, où les applications de ce genre s'étendent et se généralisent de plus en plus. L'un des emplois les mieux indiqués des pompes actionnées par l'électricité, principalement dans les grandes constructions des Etats-Unis, est le service des incendies et des ascenseurs, caractérisés tous deux par l'obligation de pouvoir, à tout instant débiter, sous une pression considérable, un grand volume d'eau.

M. F.-A. Pattison a récemment exécuté avec une pompe héliçoïdale Quimby quelques essais qui méritent d'être signalés.

Cette pompe, très-simple, se compose essentiellement (fig. 19 et 20) de deux vis, à pas opposés, et s'emboîtant l'une dans l'autre au fond de leurs cylindres, de manière à aspirer et refouler l'eau d'une façon continue et sans réactions sur les butées des axes, parce que ces réactions s'annulent en raison de l'opposition des pas de vis. Les deux vis sont conjuguées par des pignons, de sorte qu'elles tournent avec des vitesses égales et contraires, et l'un de leurs axes est commandé directement par une dynamo. Cette pompe refoule l'eau dans un réservoir d'air (fig. 21) en communication d'une part avec les conduites d'incendie, et, de l'autre, avec un régulateur, indiqué à droite de la figure, et qui, dès que la pression baisse dans le réservoir, par suite, par exemple, de l'ouverture d'un robinet d'incendie, ferme le circuit du moteur et met la pompe en marche. De plus, un petit quadrant, que l'on voit à gauche de la figure, permet de déterminer au réservoir une fuite artificielle, réglable à volonté, qui a pour objet de remettre la pompe en marche périodiquement, à des intervalles déterminés par l'importance de cette fuite.

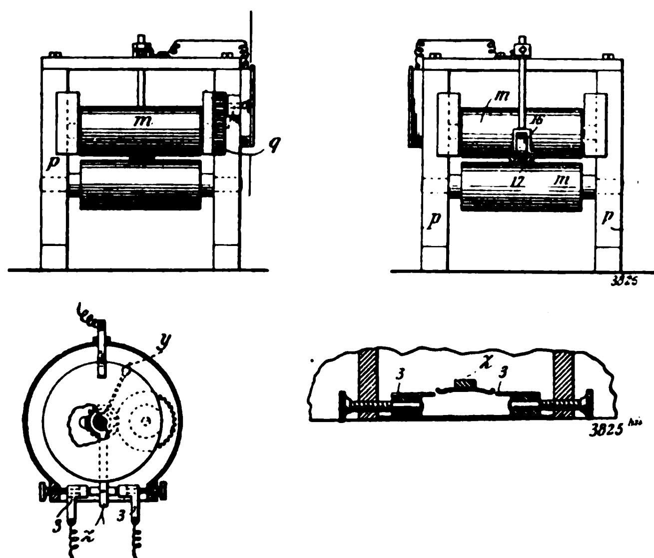


Fig. 15 à 18. — Laminoir Wayland-Smith. Détails du contrôleur.

Avec des vitesses variant de 600 à 630 tours par minute, des pressions de refoulement variant de 4,2 à 11,5 kg : cm² et des débits de 3 500 à 4 200 litres par minute, les rendements ont varié ; pour la pompe, de 75 à 65 p. 100 ; pour la dynamo, de 90 à 92 p. 100 et pour l'ensemble de l'installation, en eau montée, de 62 à 59 p. 100, comme l'indique le diagramme (fig. 22). Ce sont des rendements parfaitement comparables à ceux de pompes à vapeur installées dans des conditions analogues, et en pleine marche, mais bien plus avantageux quand on remarque que l'électricité, toujours disponible au circuit de la ville, ne coûte rien tant que la pompe ne marche pas, à l'inverse d'une chaudière qu'il faut maintenir en pression avec son chauffeur à payer, etc., en outre, l'installation électrique est moins coûteuse et moins encombrante.

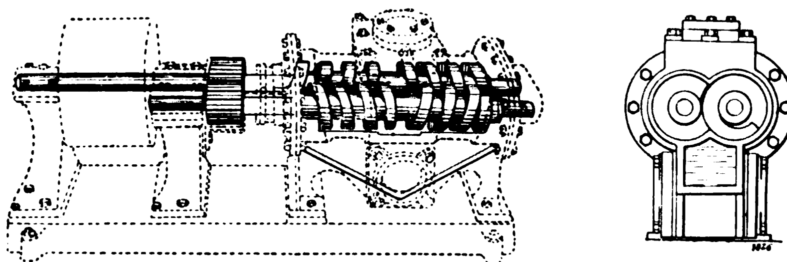


Fig. 19 et 20. — Pompe Quimby.

Il est certain qu'une pareille installation, fournissant un secours immédiat et très impor-

tant, constitue un élément de sécurité des plus remarquables, et dont l'emploi ne saurait être trop vivement recommandé aux grands établissements : magasins, théâtres, etc., d'autant plus facile à installer à peu de frais qu'ils ont déjà chez eux l'électricité pour d'autres usages. Remarquons, en passant, que rien ne serait plus facile que d'installer, au voisinage immédiat de certains immeubles particulièrement menacés et très importants des postes de pompes électriques, avec réservoirs toujours pleins, et d'une puissance infiniment supérieure à tout ce que peuvent donner les pompes automobiles.

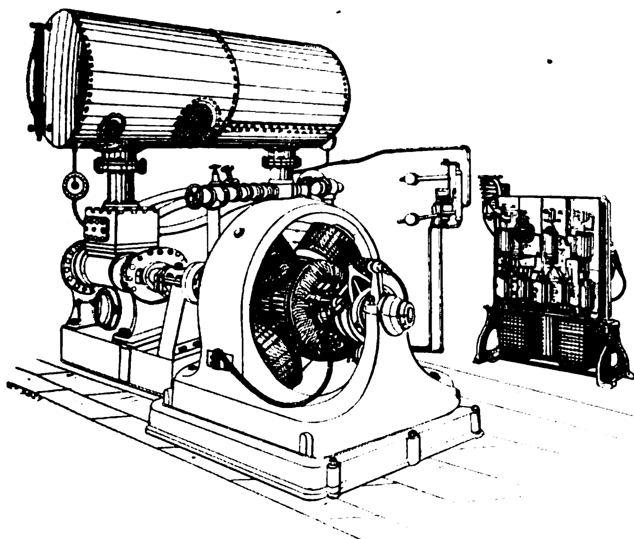


Fig. 21. — Ensemble de l'installation d'une pompe Quimby.

Dans la plupart des systèmes de distributions d'eau sous pression, tels que celui que nous venons de décrire, la pompe doit, dès sa mise en train, vaincre la pression de toute la colonne de refoulement, et sa dynamo marcher avec son couple maximum ; de là, pour éviter tout accident à cette dynamo, la nécessité d'un rhéostat de mise en train. Pour éviter cette obligation et la perte d'énergie qui en résulte, la Compagnie Thomson Houston intercale (fig. 23), entre le clapet de refoulement 6 de la pompe 2 et cette pompe, une soupape 7, commandée par un électro-aimant 8, excité par le courant de la dynamo 1, et qui, dès que cette dynamo et sa pompe cessent de marcher, s'ouvre de manière que l'eau s'évacue d'entre 6 et la pompe. Dès lors, quand on remet la pompe en train, l'électro 8, attirant son armature, ferme la soupape 7, et la pression de refoulement, d'abord très faible, augmente graduellement dans le réservoir d'air 9, jusqu'à ce qu'elle ait atteint sa valeur normale ; et, pendant ce temps, la dynamo a pu, sans aucun danger de se brûler, prendre sa vitesse de régime. Une soupape de rentrée d'air 10 permet à l'air de pénétrer dans la cloche 9 à mesure qu'elle se vide après l'arrêt de la pompe, et l'on a indiqué en 5 le régulateur à membrane qui, dès que la pression ou le niveau baissent au réservoir 4, ferme le circuit de la dynamo et remet la pompe en marche jusqu'à ce que ce niveau ait repris sa hauteur normale.

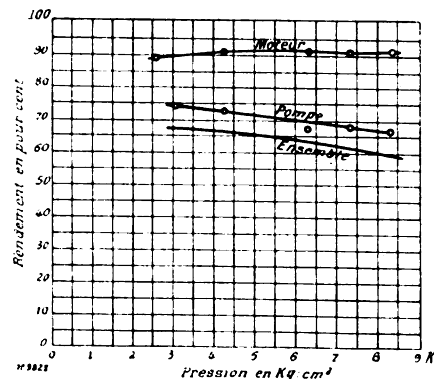


Fig. 22. — Diagramme des essais de la pompe Quimby.

Ce que nous venons de dire des distributions d'eau sous pression commandées par des pompes mues par des dynamos s'applique, dans bien des cas, aux distributions d'air comprimé, principalement à celles des transmissions électro-pneumatiques, sur lesquelles nous reviendrons un jour en détail, et dont les applications se multiplient chaque jour, notamment pour le service des signaux et aiguillages de chemins de fer, manœuvrés ainsi à grande distance, avec une grande puissance et une sûreté absolue. Dans toutes ces distributions d'air

comprimé, il faut intercaler sur la canalisation un ou plusieurs régulateurs, qui maintiennent la pression à sa valeur normale en envoyant le courant à la dynamo du compresseur dès que cette pression s'abaisse au-dessous de la limite prévue ; le régulateur à relais de M. Hewlett, ingénieur de la General Electric C°, est des plus pratiques, et a donné d'excellents résultats. Dans la position des pièces figurées au schéma (fig. 26), la touche G_1 ferme en H le circuit de T sur l'électro-aimant I et sur la dynamo N, qui met en train le compresseur O, et I, attirant son armature M, ferme en K_1K_1 le circuit de l'électro I_1, qui aimante son arma-

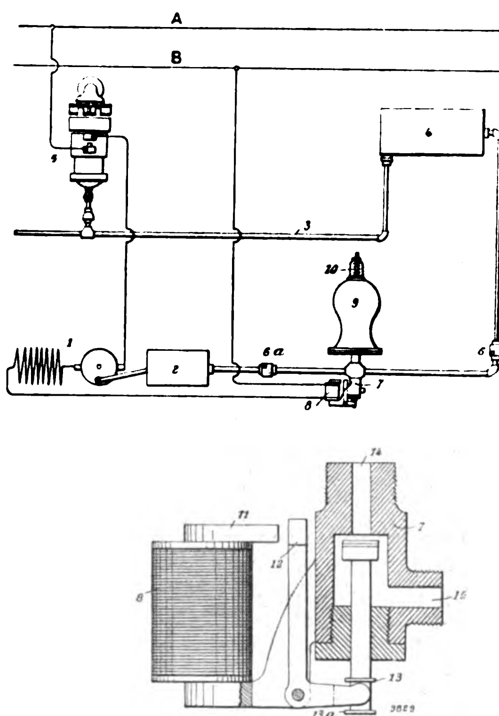


Fig. 23 et 23 *bis*. — Dispositif Thomson-Houston pour pompe électrique et détail de la soupape d'évacuation automatique.

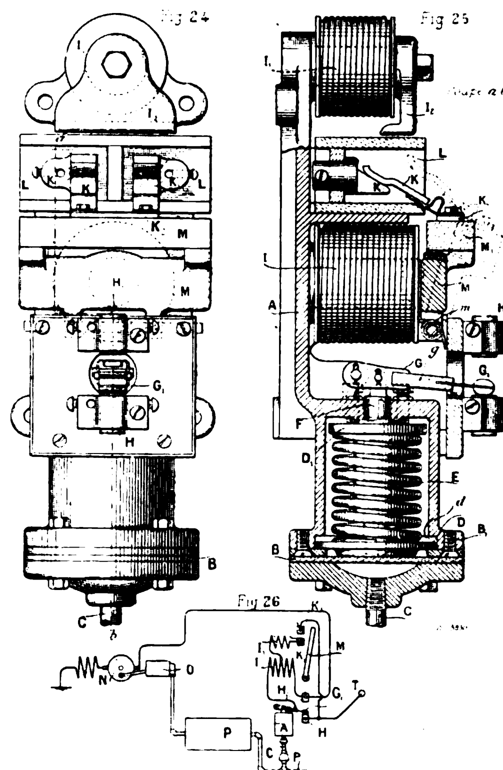


Fig. 24 à 26. — Régulateur automatique Hewlett pour canalisation d'air sous pression.

ture I_1, destinée à souffler sur les réflecteurs en porcelaine LL l'arc produit à la rupture du contact K_1. Le courant ainsi amené dans I_1 passe dans une partie des enroulements de I et, de là, au moteur, de sorte que le contact G_1 est presque en court-circuit; il n'y passe plus qu'un courant très faible. Quand la pression de l'air dans le réservoir A dépasse la limite voulue, fixée par la tension du ressort E, cette pression, qui s'exerce par C sous le diaphragme B, soulève par la tige F, à levée limitée par D, le levier G, de manière à séparer le contact G_1 de H, rupture qui se fait sans étincelle, en raison de la faible intensité du courant qui passe en G_1 au moment de cette rupture. Après avoir ainsi rompu le circuit en H, G_1 le referme en H_1, ce qui accouple en quantité les deux parties de I, que le courant traverse en sens contraires, de sorte que I lâche son armature M, qui, rappelée par son ressort *m* dans la position pointillée, rompt définitivement le circuit du moteur en K_1, sans production d'un arc dangereux, grâce au souffleur I_2. On voit que le gros courant de démarrage du moteur ne passe par G_1H que pendant un temps trop court pour endommager l'appareil.

(*A suivre.*) G. Richard.

CHARIOT DE PRISE DE COURANT

SYSTÈME VEDOVELLI

Ce chariot permet d'amener le courant électrique d'une ligne aérienne à un véhicule quelconque : voiture de tramway ou automobile. Son emploi oblige seulement à constituer la ligne aérienne de deux fils; ces fils peuvent être de même polarité ou de polarité contraire.

La figure 1 représente ce chariot. Il est formé d'un châssis, rigide ou articulé, reposant sur les fils par quatre galets à gorge large et profonde. — En dessous de chacun des longerons du châssis est disposée une pièce métallique en forme d'étoile, mobile autour d'un axe vertical et maintenue à sa position normale par un ressort de rappel.

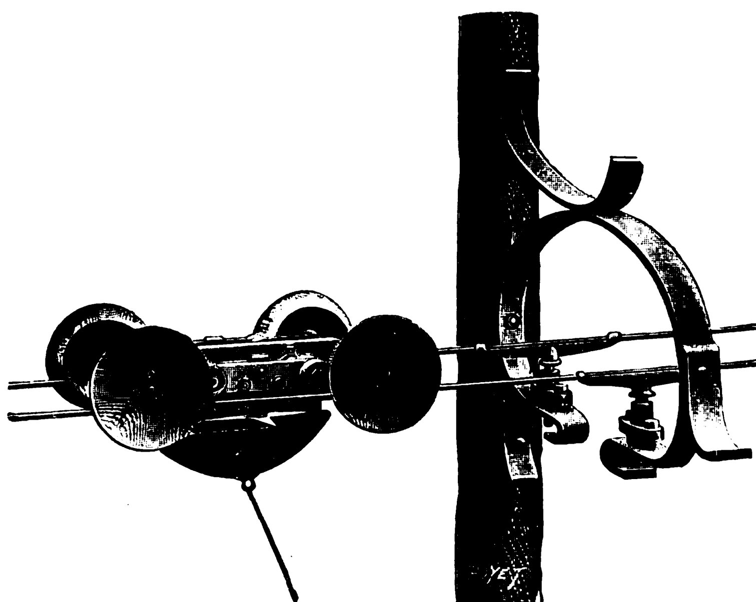


Fig. 1. — Chariot Vedovelli.

Cette étoile demeure à une certaine distance au-dessous des fils et sa hauteur est réglée de manière que les galets ne puissent quitter les fils qui leur servent de chemins de roulement. On lui a donné la faculté de se mouvoir autour d'un axe vertical pour que le passage du chariot au droit des soutiens des fils de ligne soit possible. A ce moment l'étoile vient, pour ainsi dire, engrener avec les queues des isolateurs, et, une fois l'obstacle franchi, le ressort lui fait reprendre la position correcte. Le chariot ne peut donc jamais dérailler.

Le contact est meilleur qu'avec le trôlet ordinaire, à cause de la multiplication des points de contact; on peut de plus faire le chariot très léger : deux kilogrammes environ si on emploie l'aluminium; il semble préférable de régler le poids de manière que l'effort vertical sur le fil de travail soit égal à celui que l'on obtient avec les trôlets ordinaires à prise de courant par dessous : 4 à 5 kg.

Ce dispositif, qui a au moins le double avantage d'être très simple et économique, peut être utilisé par les entreprises de transport par automobiles électriques sans rails.

Le problème se complique ici par ce fait qu'on doit envisager l'éventualité où l'on aurait à

dépasser un véhicule placé entre l'automobile et la ligne aérienne : il faut que la liaison entre le chariot et l'automobile soit assez souple pour que l'automobile dégageant sa piste normale, l'effort oblique sur le fil de travail ne prenne pas une valeur notable. — Il est utile également que le fil sur lequel s'exerce la traction du chariot ne soit jamais perpendiculaire à la ligne aérienne, sans quoi le chariot n'avancerait pas.

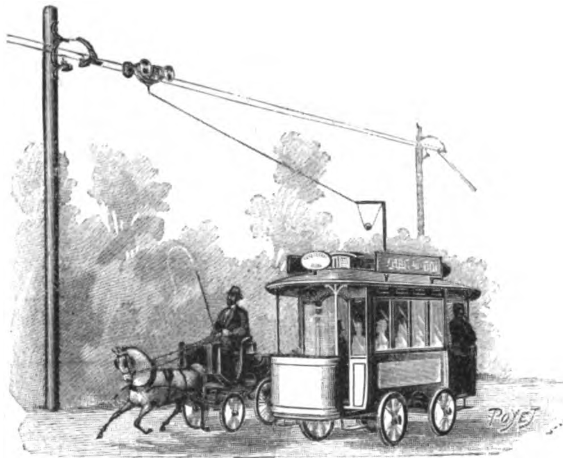


Fig. 2. — Automobile avec suspension et contrepoids.

La figure 2 montre le dispositif de suspension articulée et de contrepoids qui est employé dans ce but. Le contrepoids assure au chariot un poids adhérent constant.

Tant que l'effort de traction reste inférieur à ce poids adhérent, le câble s'allonge quand la voiture s'avance; la composante suivant le fil de l'effort de traction croît avec l'obliquité du câble et lorsque cet effort dépasse le poids adhérent, le chariot se met en marche.

Dans le cas d'automobiles sur routes, le service est généralement peu chargé et deux véhicules qui se rencontrent peuvent échanger leurs chariots de prise de courant : la ligne aérienne sera donc construite sans aiguillages.

J. Reyval.

REVUE INDUSTRIELLE ET SCIENTIFIQUE

GÉNÉRATION ET DISTRIBUTION

Régulation des systèmes polyphasés, système Feldmann, *Elektrotechnische Rundschau*, t. XVIII, p. 199, 1er juillet 1901.

Les courants polyphasés, avantageux dans les cas de distribution de force motrice, ne sont plus aussi pratiques pour l'éclairage à cause de la difficulté de leur réglage. Cette difficulté tient à ce que, lorsque le système est rendu dissymétrique par les variations de charge, il faut régler non seulement la grandeur des tensions mais aussi leurs phases.

Le procédé Feldmann réalise cette régulation par l'emploi d'un moteur auxiliaire dont le nombre de phases diffère en plus ou en moins de celui du système à équilibrer. Ce moteur est de préférence un moteur à induction, parce qu'on peut l'employer soit comme moteur, soit comme générateur. Les modifications que l'on peut lui faire subir s'obtiennent par l'introduction de résistances dans le circuit induit, par la variation de sa charge ou par l'insertion d'impédance dans les enroulements fixes. Au lieu d'un moteur

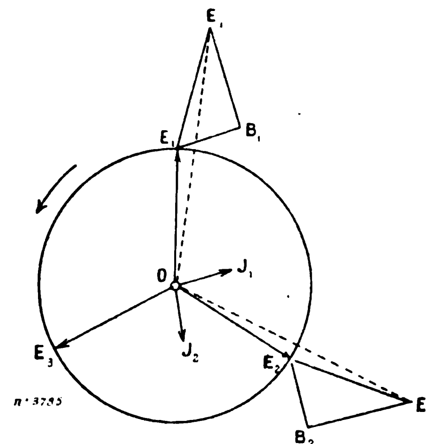


Fig. 1.

polyphasé, il est encore possible d'employer un moteur monophasé avec un enroulement auxi-

liaire remplaçant celui qui produirait la seconde phase.

L'exemple suivant est relatif au cas d'un système triphasé réglé par un moteur diphasé. Dans la figure 1 le système triphasé symétrique est rendu dissymétrique par l'introduction du moteur diphasé. OE_1, OE_2, OE_3 sont les 3 tensions égales du système avec différence de phase de 120°. Les courants OJ_1 et OJ_2 du moteur tendent à maintenir entre eux la différence de

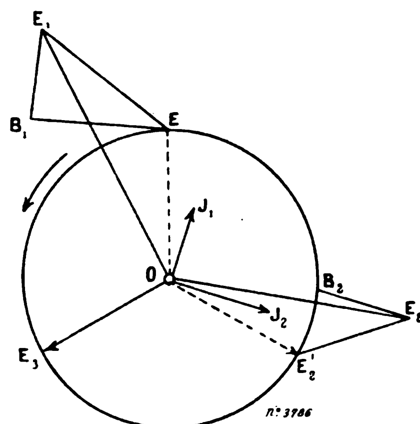


Fig. 2.

phase de 90°; OJ_1 est en arrière de OE_1 et OJ_2, de OE_2. La nouvelle force électromotrice OE'_1 est la résultante : 1° de la chute de tension ohmique $E_1 B_1$; 2° de la composante $B_1 E'_1$ nécessaire pour vaincre la force électromotrice de self-induction ; 3° de la tension aux bornes $O_1 E_1$. De même pour OE'_2. Le système OE'_1, OE'_2, OE_3 est maintenant dissymétrique, les tensions sont inégales et les différences de phases ne sont plus de 120°.

Inversement, on peut rendre symétrique un système dissymétrique OE_1, OE_2, OE_3, par un moteur diphasé OJ_1, OJ_2. C'est le cas de la figure 2. Le moteur de régulation doit diminuer OE_1 et OE_2 jusqu'à la valeur OE_3 et égaliser les trois différences de phase à 120°. Dans l'exemple choisi, cela a lieu en faisant marcher le régulateur comme générateur. G. GOISOT.

Installations électriques du barrage de Poses (Eure), par **E. Bret**, ingénieur des ponts et chaussées. *Génie Civil*, t. XXXIX, p. 265, 24 août 1901.

Le barrage de Poses, important ouvrage de 211,20 m de longueur, est situé, comme l'indique la figure 1, vers l'extrémité d'une île qui sépare la Seine en deux bras, le bras de Poses fermé par le barrage et le bras navigable d'Amfreville de 2 kilomètres de longueur sur lequel se trouvent les écluses d'Amfreville. La

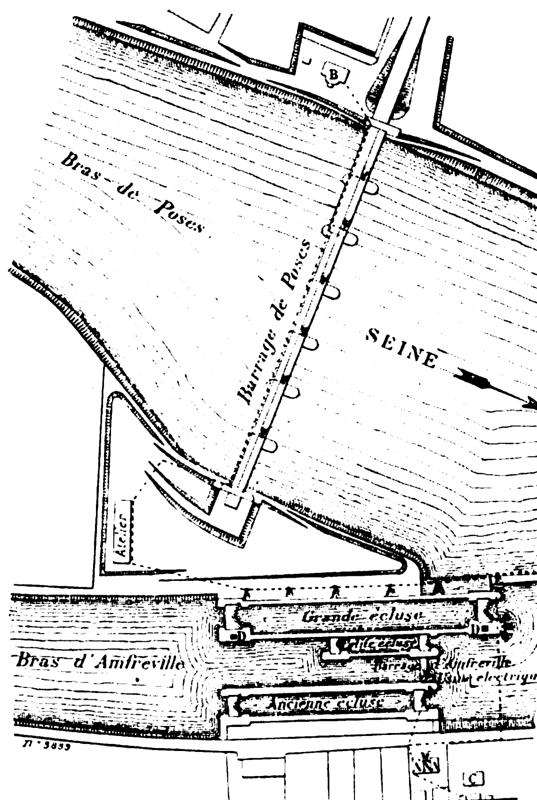


Fig. 1. — Plan général des écluses d'Amfreville et du barrage de Poses.

A, Maison éclusière; B, Maison barragiste; C, Maison du conducteur; D, Cabestan; X, Accumulateurs.

chute créée aux écluses par ce barrage atteint jusqu'à 4,18 m avec un débit de 100 m³ à l'étiage ; en grande crue le débit s'élève jusqu'à 1800 m³ et la hauteur de chute est encore d'au moins 0,80 m. La puissance disponible peut atteindre 22 000 chevaux; d'après le diagramme de la figure 2 qui représente le nombre moyen de journées pendant lesquelles la puissance et la chute atteint une valeur donnée, la puissance moyenne annuelle est de 6 800 chevaux et la puissance moyenne pendant la moitié de l'année de 13 255 chevaux.

Comme pour la plupart des chutes créées artificiellement pour les besoins de la navigation fluviale, cette puissance considérable restait jusqu'ici sans emploi; depuis quelque temps une

faible portion (bien minime puisqu'elle ne dépasse pas 30 chevaux) est utilisée pour l'éclairage des écluses, des barrages et des maisons ainsi que pour la manœuvre des portes d'écluses et des rideaux et cadres du barrage. Ce sont les installations exécutées en vue de cette utilisation que M. Bret décrit avec détail dans le *Génie civil* ; nous extrayons de cette description les quelques renseignements suivants :

Usine génératrice. — Ainsi que l'indique le plan général (fig. 1) l'usine a été établie à l'une des extrémités du barrage à aiguilles situé entre

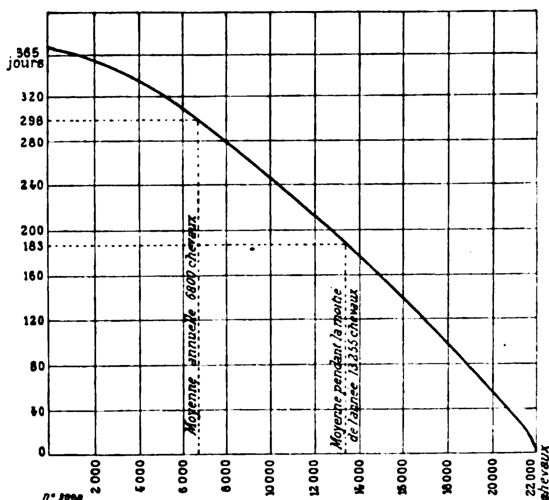


Fig. 2. — Nombre moyen de journées pendant lesquelles la puissance de la chute atteint une valeur donnée.

deux des écluses d'Amfreville; la construction repose, à l'amont, sur le radier du barrage, et, à l'aval, sur pilotis coiffé d'un grillage en chêne, ancré dans les anciennes maçonneries et noyé dans une couche de béton (fig. 3 et 4).

Les conduites de prise d'eau et de fuite sont en fonte, de 1,20 m de diamètre, avec robinets-vannes permettant d'isoler la turbine. Celle-ci est du type Fontaine, à pivot rehaussé et à chute variable, avec vannage à rouleau; elle a 0,75 m de rayon moyen. Sa puissance peut atteindre 30 chevaux, sous la chute de 4 m, sans descendre au-dessous de 12 chevaux pour la chute minimum de 0,80 m. Sur l'arbre de la turbine est montée une roue en fonte de 1,48 m de diamètre, avec denture en bois, engrenant avec un pignon d'angle actionnant deux courroies avec poulies de renvoi permettant de multiplier la vitesse de rotation entre la turbine et les dynamos qu'elle actionne dans les proportions de 25 à 900 tours par minute.

Les dynamos, au nombre de deux, dont une de réserve, sont du type Gramme supérieur, à excitation en dérivation ; elles débitent chacune 40 ampères sous 275 volts ; elles sont montées sur glissières.

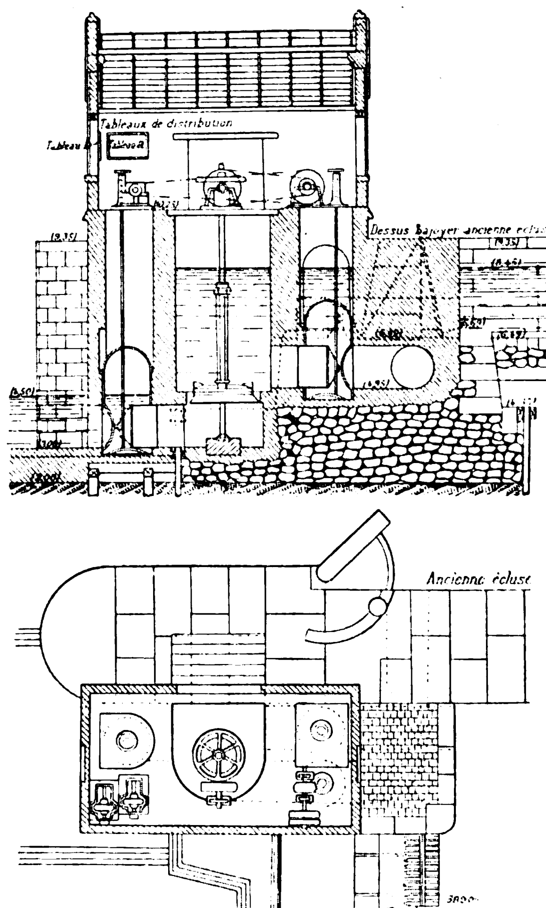


Fig. 3 et 4. — Coupe longitudinale et plan au niveau du sol de l'usine électrique.

La vanne de chaque conduite d'eau est actionnée par une vis terminée par une borne contenant un engrenage d'angle et munie d'une manivelle. Le vannage de la turbine est actionné, à bras, au moyen d'un volant agissant sur l'arbre vertical commandant le rouleau, ou automatiquement par une dynamo-série de 1180 watts pouvant être embrayée sur la vis sans fin commandant l'arbre vertical.

Tableau de distribution. — Le tableau de distribution principal (fig. 5) permet de diriger

le courant sur les accumulateurs seuls, ou, à la fois, sur les accumulateurs et le réseau de distribution de force motrice, ou seulement sur ce dernier. Outre les interrupteurs, plombs fusibles, paratonnerres à pointes, indicateurs de terre à lampes, voltmètres et ampèremètres, il comprend :

1° Un régulateur d'excitation à main avec résistances en ferro-nickel ;

2° Un régulateur de voltage automatique, se

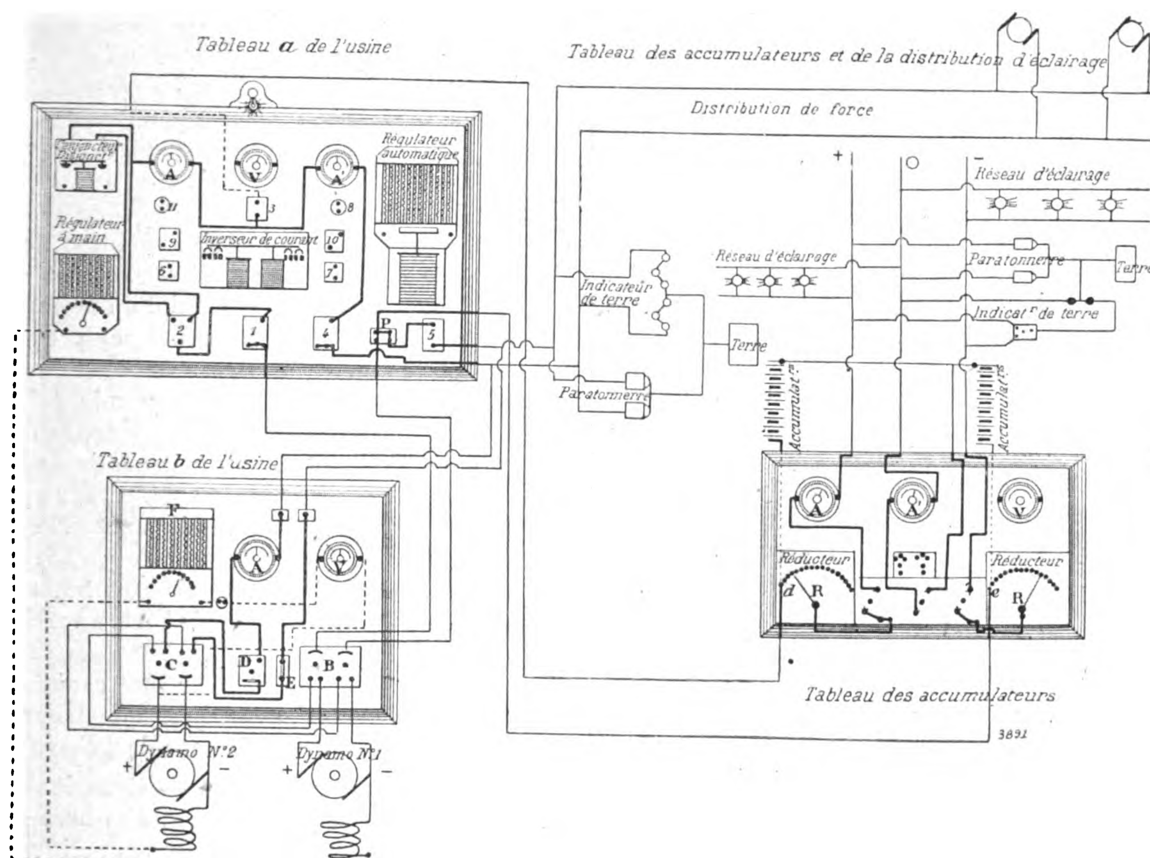


Fig. 5. — Schéma des tableaux de distribution d'éclairage et de force motrice.

La dynamo n° 2 peut travailler seule sur l'un ou l'autre des tableaux *a* et *b*.

La dynamo n° 1 ne peut travailler que sur le tableau *a*.

Si les dynamos sont couplées en parallèle, la dynamo n° 1 travaille sur le tableau *a*, et la dynamo n° 2 sur le tableau *b*.

Tableau des accumulateurs : A, ampèremètre du fil + ; A', ampèremètre du fil neutre ; V, voltmètre ; R*d*, R*e*, réducteurs de décharge.

Tableau a de l'usine : 1, interrupteur de courant principal ; 2, commutateur du conjoncteur-disjoncteur ; 3, interrupteur des accumulateurs ; 4, interrupteur du fil + de force motrice ; 5, interrupteur du fil — ; 6, interrupteur du courant d'excitation ; 7, interrupteur du voltmètre ; 8, interrupteur du régulateur automatique ; 9, interrupteur du fil + du moteur de vannage ; 10, interrupteur du fil — ; 11, interrupteur de la lampe du tableau.

Tableau b de l'usine : A, ampèremètre de la dynamo 2 ; B, commutateur de la dynamo 1 ; C, commutateur de la dynamo 2 ; D, interrupteur du courant principal de la dynamo 2 ; E, coupe-circuit de la dynamo 2 ; F, régulateur à main de la dynamo 2 ; V, voltmètre de la dynamo 2.

composant d'une bobine, en dérivation sur le courant d'excitation, et dans laquelle se déplace un cylindre de fer doux supportant une cuve à mercure. Au-dessus de cette dernière se trouvent des résistances dont les extrémités inférieures se terminent suivant une ligne inclinée et peuvent plonger, en nombre variable, dans le mercure, suivant le déplacement imprimé à la cuve par les variations de voltage ;

3° Un inverseur de courant, complétant l'appareil précédent, en cas de fortes variations. Lorsque le levier supportant la cuve à mercure est à bout de course, il commande un interrupteur à mercure qui, en se fermant, actionne l'in-

verseur de courant lançant, dans l'induit du moteur du vannage, un courant de sens différent suivant le sens de la rotation à obtenir.

4° Un conjoncteur-disjoncteur automatique, permettant de s'opposer à la décharge, sur la dynamo, de la batterie d'accumulateurs en charge, pour le cas de chute accidentelle de voltage. L'appareil se compose d'une bobine à deux enroulements, dont l'un est traversé par le courant principal et l'autre par le courant d'excitation; une pièce de fer doux se déplaçant dans la bobine suivant le sens du courant principal, peut actionner un interrupteur isolant la batterie.

Un second tableau a été ajouté, avec la dynamo de réserve pour permettre le fonctionnement en parallèle des deux génératrices, s'il est nécessaire.

Accumulateurs. — La batterie d'accumulateurs, destinée à assurer la régularité de l'éclairage et l'alimentation du réseau en dehors des heures de marche de l'usine, est composée de deux groupes de 54 éléments, type Jacquet. Chaque élément comprend 11 plaques à oxydes rapportés contenues dans des bacs en verre de 26,5 cm de largeur, 16,5 cm de longueur et 35,5 cm de hauteur; ces bacs reposent sur des étagères par l'intermédiaire d'isolateurs en verre à coupe d'huile. La capacité utile est de 300 ampères-heure.

La batterie est placée dans une dépendance de la maison éclusière. Un tableau spécial permet : 1° la charge en série sur les 108 éléments; 2° la décharge, sur la ligne des moteurs, de la batterie complète en série; 3° la décharge, sur la ligne d'éclairage, des deux demi-batteries.

Eclairage et force motrice. — La canalisation d'éclairage est à trois fils, le fil neutre étant relié au milieu de la batterie d'accumulateurs; le nombre des lampes est d'environ 70; les lampes extérieures, dont une bonne partie restent allumées toute la nuit, sont de 32 bougies.

La force motrice est utilisée pour la manœuvre du barrage, la manœuvre des portes et des vannes de remplissage et de vidange de la grande écluse, la mise en marche des cabestans, enfin la commande de quelques machines-outils de l'atelier de réparation et d'une pompe rotative alimentant un établissement de pisciculture. La canalisation est constituée par deux câbles en cuivre composés de 19 à 7 brins de 14 mm de diamètre; la différence de potentiel est de 275 volts.

Le barrage étant du système Cameré, c'est-à-dire formé de cadres en fer légèrement inclinés, mobiles autour d'un axe situé sous le pont supérieur, butant par le pied sur un seuil, et servant d'appuis à des rideaux en bois étanches en forme de stores, la manœuvre d'ouverture du barrage comprend l'enroulement des rideaux et le relèvement dans un plan horizontal des cadres de fer. La première opération s'effectue au moyen de deux treuils électriques munis chacun d'un moteur de 3 chevaux; le relèvement des cadres se fait avec un treuil muni d'un moteur à 7 chevaux, pouvant se déplacer par ses propres moyens sur la voie de service.

La manœuvre des portes de la grande écluse et des vannes de remplissage et de vidange correspondantes se fait à l'aide de moteurs de 5 chevaux.

Les cabestans, au nombre de quatre, sont actionnés chacun par un moteur de 7 chevaux dont l'arbre, terminé par une vis sans fin, agit sur un disque denté solidaire de l'arbre vertical du cabestan.

Diverses machines de l'atelier sont commandées par un moteur de 2 chevaux; le moteur de la pompe rotative a une puissance de 4 chevaux.

Résultats de l'installation. — Cette installation a permis, en premier lieu, d'assurer un bon éclairage, mettant fin aux graves accidents qui se produisaient auparavant pendant la nuit, en second lieu d'effectuer les manœuvres beaucoup plus rapidement et avec un personnel moins nombreux.

La vidange ou le remplissage de la grande écluse (141 m de long, 17 m de large, 4 m de chute) qui demandait autrefois 30 minutes, s'effectue maintenant en 12 minutes. Les cabestans ont permis de réduire de 30 minutes le temps passé à l'approche et au rangement des trains de 5 péniches. La durée du passage d'un train toué n'est plus ainsi que de 1 h. 10 m au lieu de 2 heures.

La manœuvre des cadres du barrage qui à bras exigeait 60 heures pour l'ouverture et 40 heures pour la fermeture, s'effectue maintenant en 7 h. et 3 h. 20. Celle des rideaux ne demande plus que 12 h. 20 au lieu de 21 h. Le

barrage peut ainsi être complètement effacé en une seule journée dans un cas urgent tel que celui de charriage subit de glaçons.

Les frais d'établissement de l'installation électrique ont été de 117 000 fr. se décomposant ainsi :

Usine (bâtiment, turbine, dynamos, tableaux).	46 200 fr
Réseaux de distribution avec lampes	13 900 »
Treuils du barrage (3).	13 000 »
Appareils de manœuvre des écluses et cabestans.	42 000 »
Moteurs de l'atelier et de la pompe	1 900 »

Cette dépense, qui n'atteint pas 2 p. 100 de la valeur des ouvrages de la retenue, aurait nécessairement été moindre si l'installation avait été prévue lors de la construction du barrage.

J. REYVAL.

Distribution d'énergie électrique de Sublin (Suisse), par **K.-A Breüer**, *Génie Civil*, t. XXXIX, p. 233, 10 août 1901.

Ce réseau de distribution a été installé principalement en vue de l'alimentation du chemin de fer électrique Bex-Gryon-Villars, dont le dernier tronçon de Gryon à Villars a été livré à l'exploitation dans le courant de cet été.

USINE GÉNÉRATRICE DE SUBLIN : *Partie hydraulique*. — La force motrice est empruntée à l'Avançon, torrent qui s'écoule des Alpes vaudoises et dont le débit est, grâce à des sources abondantes, relativement constant. Depuis longtemps les eaux de cette rivière sont utilisées, dans leur cours inférieur, par divers industriels notamment par les Salines cantonales du Bevieux, qui ont installé une usine de 600 chevaux. En 1896, une usine électrique fut installée dans le cours supérieur, à la Peuffaire, pour l'éclairage des communes de Gryon, Villars et Chesières. Entre ces usines restait une différence de niveau d'environ 170 m qui fut concédée en 1896, à la commune de Bex et rétrocédée par elle à un comité d'initiative qui, sous la direction de MM. Oyez-Ponnaz, conseiller d'Etat et Palaz, ingénieur, fonda la Société des forces motrices de l'Avançon.

C'est cette chute qu'utilise la nouvelle usine de Sublin, où l'on dispose d'un débit moyen de 800 litres par seconde. La figure 1 donne le plan schématique des travaux exécutés pour amener l'eau à cette usine, la figure 2 le plan des bâtiments de l'usine, la figure 3 une coupe de la salle des machines.

Du barrage de prise d'eau, constitué par un massif de maçonnerie de 7,6 m longueur, 3 m de hauteur et 2,5 m d'épaisseur, l'eau est conduite par

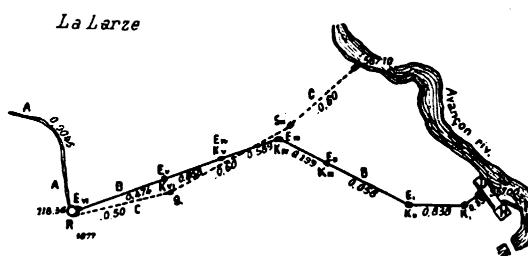


Fig. 1. — Plan schématique des conduites d'amenée et de trop plein.

A, canal d'amenée; B, conduite d'amenée; C, conduite de trop plein; D, salle des machines; E, manchons de dilatations; F, canal de fuite; H, maison d'habitation; K, coudes métalliques; R, réservoir.

un canal A entièrement souterrain de 1 432 m de long à un réservoir R, en ciment armé. Ce réservoir, de 8 m de diamètre et 3,6 m de profondeur et par conséquent d'une contenance de 180 m³, sert de point de départ à la conduite d'alimentation B et à la conduite de trop plein C et en même temps assure aux turbines une pression

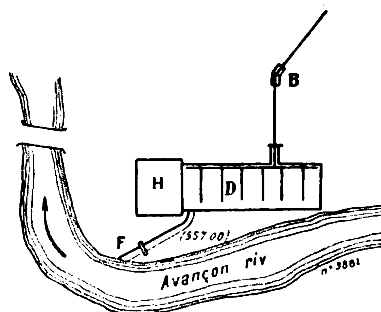


Fig. 2. — Plan des bâtiments de l'usine de Sublin.

B, conduite d'amenée; D, salle des machines; F, canal de fuite; H, maison d'habitation.

d'eau constante malgré les variations de débit du canal d'amenée. La conduite d'alimentation B est formé de tuyaux en tôle d'acier d'une épaisseur variant de 5 à 14 mm, d'un diamètre intérieur de 90 cm et d'une longueur de 6 à 7,30 m ; elle épouse, à ciel ouvert, la configuration d'un ravin très rapide, changeant plusieurs fois de direction et de pente ; sa longueur est de 402 m. La conduite de trop plein C est constituée par

une canalisation souterraine en ciment armé de 65 cm de diamètre intérieur.

Les turbines, au nombre de six, ont une puissance de 400 chevaux à la vitesse angulaire de 600 tours : minute. Elles sont du système Escher Wyss et C°, à axe horizontal, à languette de réglage et sont munies du régulateur à servo-moteur hydraulique de ces mêmes constructeurs. Le réglage ainsi obtenu est très rapide ; ainsi il a été constaté qu'en supprimant brusquement la pleine charge, l'augmentation de la vitesse angulaire ne dépasse pas 5 p. 100 bien qu'aucun

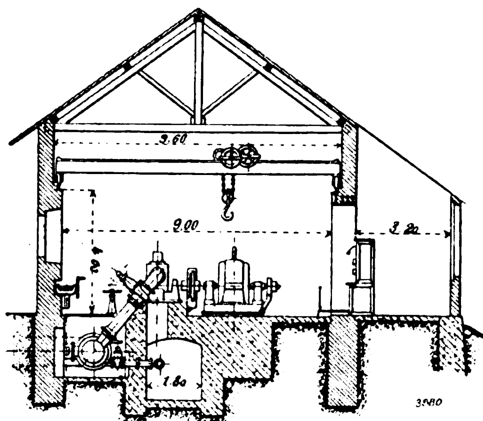


Fig. 3. — Coupe transversale du bâtiment des machines.

volant ne soit calé ni sur l'arbre de la turbine, ni sur celui de la génératrice électrique qui y est accouplée. Pour éviter les coups de bélier pouvant se produire dans la conduite, par suite des mouvements subits des régulateurs, chaque turbine est munie d'un appareil de vidange de sûreté, lequel donne momentanément passage à l'eau pour se refermer ensuite automatiquement et lentement.

Le rendement garanti des turbines est de 0,75 ; il résulte des essais qu'il peut atteindre 0,80 en pleine charge.

Partie électrique. — Le matériel générateur électrique est constitué par quatre alternateurs Westinghouse desservant le réseau de distribution pour force motrice et lumière et par deux dynamos à courant continu Thury alimentant les sections voisines du chemin de fer électrique ; toutes ces machines sont entraînées par les turbines au moyen d'accouplements Raffard.

Les quatre alternateurs, à pôles radiants et à induit tournant, produisent, à la vitesse de 600 t : m, des courants triphasés de 33 ampères par phase sous la tension de 5 000 volts et de fréquence 50. Les pièces polaires, au nombre de 20, sont en feuillard de tôle au bois, de 0,3 mm d'épaisseur; l'alésage intérieur est de 100 mm. Les bobines induites, au nombre de 15, sont logées dans des rainures rectangulaires découvertes sur la périphérie de l'induit. L'induit pèse 2 700 kg ; l'alternateur, y compris l'excitatrice montée sur le prolongement de l'arbre, 11 100 kg; le poids du cuivre est de 850 kg. La chute de tension de la marche à vide à la marche à pleine charge est de 0,9 p. 100 avec cos $\varphi = 1$ et de 12 p. 100 avec cos $\varphi = 0,8$. Le rendement industriel, déterminé lors des essais de réception, est de 93 p. 100 en pleine charge et de 88,5 p. 100 à demi-charge.

Les deux générateurs à courant continu sont hexapolaires, hypercompound et peuvent débiter normalement 300 ampères sous 650 volts; le collecteur porte 309 lames. Le poids de l'induit bobiné est de 2 700 kg ; celui de la machine complète, 8 280 kg ; le poids de cuivre du collecteur, à lui seul, est de 370 kg. La variation de tension de la machine à vide à la marche en pleine charge ne dépasse pas 8 p. 100 à vitesse et excitation constantes. Le rendement est de 93 p. 100.

Le tableau de distribution est relié aux machines par des câbles armés passant dans des caniveaux ouverts. Ce tableau se compose de deux parties distinctes, l'une pour les alternateurs (fig. 4), l'autre pour les dynamos à courant continu ; toutes deux sont assemblées par fers à cornières et portent des panneaux en marbre sur lesquels on ne voit que les appareils de mesure et les manettes de manœuvre.

Le service d'éclairage étant pris sur une seule des phases des courants triphasés fournis par les alternateurs, les alternateurs I et II généralement affectés à ce service sont munis d'interrupteurs bipolaires; ils sont également munis d'interrupteurs tripolaires afin de pouvoir s'en servir en cas de besoin sur le réseau de force motrice. Les alternateurs III et IV affectés au dernier réseau ne sont pourvus que d'interrupteurs tripolaires; cependant pour pouvoir les connecter au réseau de lumière, il y a un interrupteur spécial, placé derrière le tableau, qui relie deux des rails triphasés aux rails de lumière. Pour le couplage en parallèle des machines, on

se sert d'une résistance de mise en phase composée de trois bobines à forte self-induction qu'on intercale dans le circuit de la machine vide au moyen d'un interrupteur spécial placé au milieu du tableau, avec les deux voltmètres d'essai, les lampes témoins et les voltmètres généraux. Comme coupe-circuits, on emploie des fils de cuivre logés dans des tubes de verre ou d'ébonite avec poignée isolante; on peut les mettre ou les sortir du circuit sous tension. Le réglage de la tension tant pour la force motrice que pour la lumière se fait à la main; les résistances du champ magnétique des alternateurs peuvent être accouplées pour une commande centrale par un seul levier.

La partie du tableau réservée aux génératrices de traction ne présente pas de particularité.

Réseau de distribution. — Les lignes à haute tension, au nombre de trois (fig. 5), sont entièrement aériennes avec isolateurs à triple cloche de 170 mm de hauteur et 110 mm de diamètre à la base. La ligne de force motrice est à trois conducteurs; sa longueur est de 7 750 m; elle alimente à l'usine de produits chimiques de Monthey 2 moteurs synchrones de 500 chevaux et à Bex une sous-station de distribution à basse tension. Les deux autres lignes, spéciales au service d'éclairage, sont à deux conducteurs; l'une d'elles, établie en 1899, alimente le village des Posses; l'autre dessert les sous-stations de Bex, Chatel, Lavey et Lavey-les-Bains. La longueur totale de ces trois lignes est de 19 400 m; le poids du cuivre est d'environ 11 tonnes.

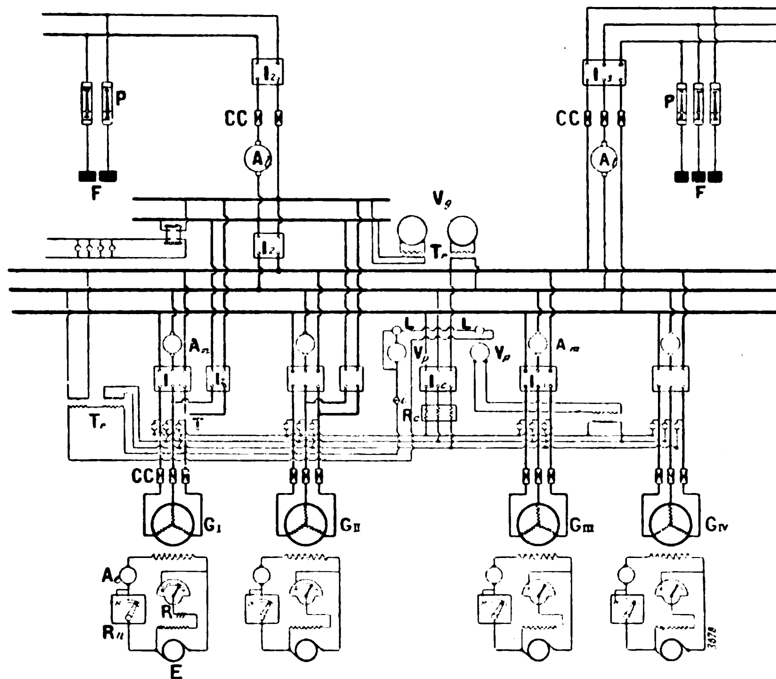


Fig. 4. — Schéma du tableau de distribution des courants triphasés.

G, alternateurs triphasés; Am, ampèremètre de machine; Al, ampèremètre de ligne; Vg, voltmètre général; Vp, voltmètre de mise en parallèle; i, interrupteur pour lampes témoins; Rc, résistance de couplage; Ic, interrupteur de la résistance de couplage; E, excitatrice; Rn, shunt; Rm, résistance du champ magnétique; Ae, ampèremètre d'excitation; I_3, interrupteur tripolaire (force motrice); I_2, interrupteur bipolaire (éclairage); CC, coupe-circuits à haute tension; P, parafoudre; E, plaques de terre; T, fiche; Tr, transformateur de voltmètre et de mise en phase; L, lampes témoins.

Les sous-stations sont toutes construites sur le même type; ce sont de petites maisonnettes en briques pouvant contenir un ou plusieurs transformateurs avec leurs appareils de protection. Les transformateurs monophasés pour l'éclairage sont de la Compagnie de l'Industrie électrique; les transformateurs triphasés sont de Alioth et Cie. Les premiers abaissent la tension à 2×120 volts, les seconds à 3×240 volts.

Les réseaux secondaires sont aériens; les conducteurs, en cuivre nu, sont supportés par des

isolateurs à simple cloche. Le réseau d'éclairage de Bex alimente 2 650 lampes de 30 000 bougies. Pour la force motrice, il n'y a pas de réseau secondaire proprement dit; une dérivation est posée dans chaque cas particulier; les moteurs sont d'ailleurs peu nombreux : 1 moteur asynchrone monophasé de 1 cheval, 3 moteurs triphasés de 2 chevaux, 2 moteurs asynchrones

Fig. 5. — Schéma des lignes à haute tension.

de 12 à 30 chevaux. Quand aux grands moteurs synchrones de l'usine de produits chimiques de Monthey dont il a été question plus haut, ils sont branchés directement sur le réseau de haute tension.

Prix de vente et prix de revient de l'énergie. — La vente de l'énergie pour l'éclairage se fait à forfait; le prix par bougie-an varie de 1 fr à 1,70 fr, suivant la durée de l'allumage.

L'énergie pour l'alimentation des moteurs est également vendue à forfait pour 11 heures de fourniture par jour ouvrable. Le prix est, par an, de 45 fr pour un quart de cheval, 80 fr pour un demi-cheval, 150 fr pour un cheval, 280 fr pour 2 chevaux; 130 fr le cheval pour 3 à 6 chevaux; au-dessus de 6 chevaux, le prix est à fixer dans chaque cas.

Le coût total de l'installation est :

1° Terrains, travaux préliminaires et direction.	30 000
2° Travaux hydrauliques, barrage, canal, usines avec les turbines. . .	332 000
3° Partie électrique sans les conduites primaire et secondaire	130 000
Total.	492 000

Le service d'exploitation occupe huit employés savoir : un chef d'usine, un électricien sous-chef d'usine, un électricien, deux aides, un surveillant pour le barrage et deux surnuméraires pour les remplacements.

J. Reyval.

TRACTION

Chemin de fer électrique Bex-Gryon-Villars (Suisse), par **K.-A. Breüer**. *Génie Civil*, t. XXXIX, p. 249, 17 août 1901.

Ce chemin de fer comprend trois tronçons, les deux extrêmes à adhérence, le tronçon intermédiaire à crémaillère. Le premier, inauguré en septembre 1898, s'étend sur une longueur de 3 300 m, de la gare du Jura-Simplon, près Bex, aux Salines de Bevieux. Le tronçon à crémaillère, d'une longueur de 4 930 m, relie le Bevieux (altitude 487,5 m) à Gryon (altitude 1 134, 20 m) en passant par Sublin et les Posses. Enfin le dernier tronçon, d'une longueur de 4 300 m, gagne par une série de pentes ne dépassant pas 6 p. 100 les hôtels de Villars situés à 120 m au-dessus de Gryon; ces deux derniers tronçons ont été ouverts à l'exploitation cet été. La figure 1 donne le plan général de la ligne, la figure 2 en montre le profil en long.

Voie. — Sur toute sa longueur la ligne est à voie unique de 1 m de largeur. Le premier tronçon a été établi en accottement d'une route existante, le dernier suit une nouvelle route établie en même temps que la ligne. Sur ces deux tronçons la rampe maximum admise est de 6 p. 100; les rayons de courbes varient entre 500 m et 30 m.

Le tronçon à crémaillère a été établi sur plate-forme indépendante de 3,60 m de largeur; les rampes atteignent 20 p. 100 sur une grande partie du parcours; elles seront réduites à 4 p. 100 dans les haltes et stations; les rayons des courbes sont uniformément de 80 m.

Dans les parties à adhérence, la voie est constituée par un rail Phœnix dont l'ornière a 33 mm de largeur; la hauteur du rail est de 115 mm, la largeur de son patin de 115 mm; son poids linéaire est de 30,5 kg : m. Ce rail est posé en longueurs de 10 m sur des traverses en fer de 1,5 m de longueur et pesant 21 kg; il y a 13 traverses par longueur de rail; l'éclissage mécanique se fait au moyen de solides éclisses à équerre fixées au moyen de 6 boulons ; l'éclis-

sage électrique est assuré par deux connecteurs de 8 mm de diamètre.

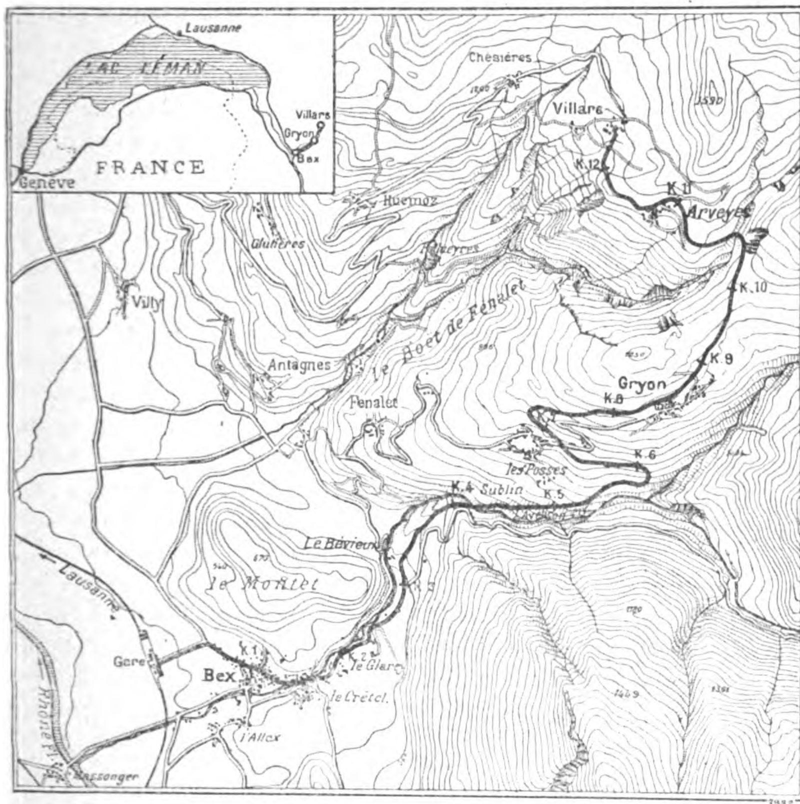


Fig. 1. — Plan général du chemin de fer Bex-Gryon-Villars.

Dans le tronçon à crémaillère la voie est constituée par un rail Vignole en acier (fig. 5) pesant 20,6 kg par mètre et posé en longueurs de 10,8 m sur des traverses métalliques de 1,8 m de longueur, pesant 23,6 kg et espacées de 0,90 m. La crémaillère, du type Abt, est formée de lames dentées (fig. 3 et 4) de 1,8 m de longueur, 125 mm de hauteur et 25 mm d'épaisseur; la hauteur des dents est de 55 mm, la partie utile de 45 mm et le pas de 120 mm. Dans les parties où la déclivité ne dépasse pas 9 p. 100 la crémaillère ne comprend qu'une seule lame, mais dans les parties de plus grande déclivité, elle est formée de deux lames disposées de manière que les dents soient réparties en quinconce.

L'origine et la fin de la crémaillère sont munies d'une pièce spéciale (fig. 6 à 8) de 3,40 m de long, supportée par des ressorts et dont les dents ont une hauteur allant en augmentant, afin de faciliter l'engrenage avec la roue dentée du véhicule.

Ligne électrique. — La traction se fait par courant continu à 600 volts. Le fil de contact aérien est en cuivre durci de 9 mm de diamètre sur les parties à adhérence et de 10 mm sur le tronçon à crémaillère; il est suspendu élastiquement à des consoles métalliques fixées à des poteaux en bois imprégné.

Les conducteurs d'alimentation, de 11 mm de diamètre, sont portés soit par les poteaux consoles, soit par des poteaux spéciaux à travers champs. Un des feeders rejoint la ligne au kilomètre 3,900, l'autre alimente le tronçon de Gryon à Villars.

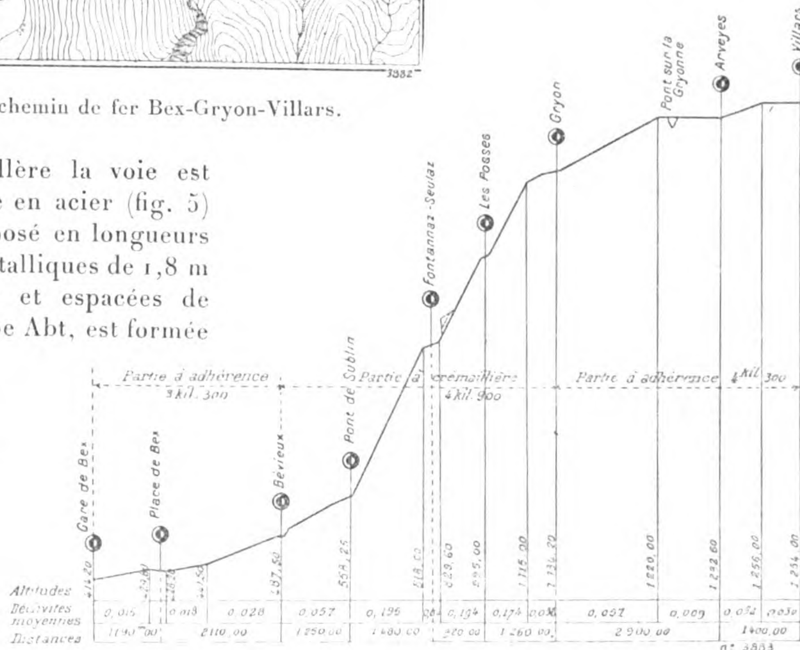


Fig. 2. — Profil en long.

Matériel roulant. — Le matériel roulant comprend : 4 voitures automotrices type tramway, à deux essieux, et une voiture de remorque qui sont utilisées sur le tronçon de la gare au

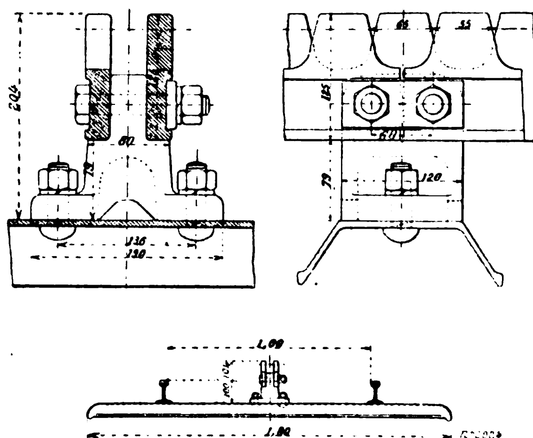


Fig. 3 à 5. — Coupes de la voie et de la crémaillère.

Bevieux depuis son ouverture à l'exploitation ; 2 grandes voitures automotrices à deux boggies (quatre essieux) qui sont employées pour les voyages directs de la gare à Villars ; 2 locomotives électriques à crémaillère qui servent à la traction des deux voitures précédentes sur le tronçon à crémaillère ; enfin plusieurs wagons à marchandises.

Les locomotives électriques, les seules parties du matériel roulant dont la description offre quelque intérêt, ont été construites par la Société suisse pour la construction des locomotives, à Winterthur ; l'équipement électrique a été fourni par la Compagnie de l'Industrie électrique de Genève ; la caisse par la Société de Neuhausen.

Les figures 9 à 11 donnent les coupes, vue en bout et plan d'une de ces locomotives. Le truck est composé de deux forts longerons en tôle découpée, entretoisés par de fortes ferrures ; il repose, au moyen de ressorts, sur deux essieux porteurs. La longueur totale de la locomotive, y compris les pièces d'attelage, est de 5 m ; sa largeur de 2,5 m ; sa hauteur, du rail à la toiture, de 3,25 m ; l'écartement des axes des essieux est de 2,27 m.

La partie électrique, dont l'ensemble est schématiquement représenté par la figure 12, comprend deux moteurs série de 100 à 120 chevaux, hexapolaires ; une roue à chevron montée sur chaque moteur actionne un arbre intermédiaire, lequel transmet le mouvement à l'essieu-moteur

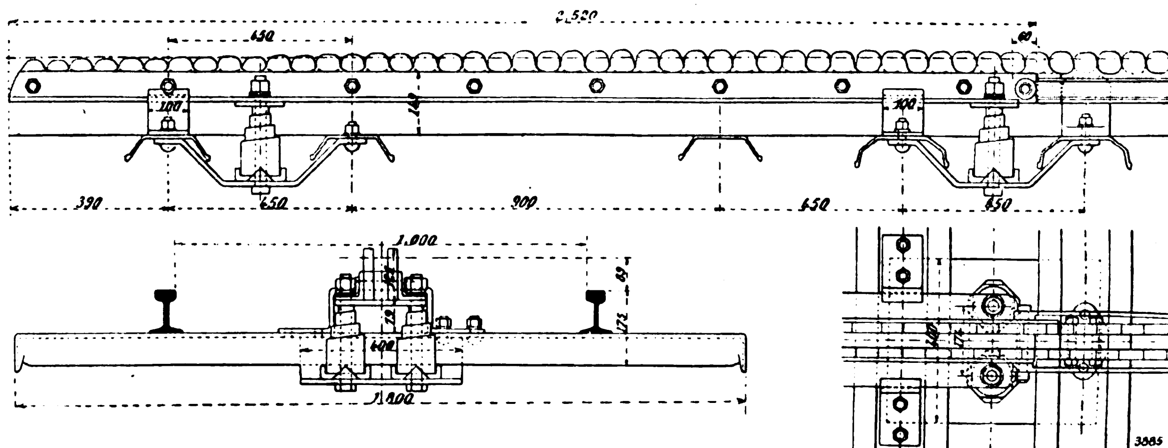


Fig. 6 à 8. — Détails d'une pièce d'entrée de la crémaillière.

à deux roues engrenant dans la crémaillère à double lame ; ce système réduit dans le rapport de 8 à 1 la vitesse angulaire (525 t : m) des moteurs et permet d'obtenir une vitesse de 8 km : h.

La mise en marche (fig. 13) comprend un cadre de résistances de réglage portant 25 touches et un combinateur à commande par levier permettant d'obtenir les marches avant et arrière ainsi que l'arrêt. Les résistances de réglage sont, pendant la descente, mises en série avec les moteurs qui fonctionnent alors comme génératrices et forment frein ; elles sont formées de rubans de fer ondulé de section suffisante pour

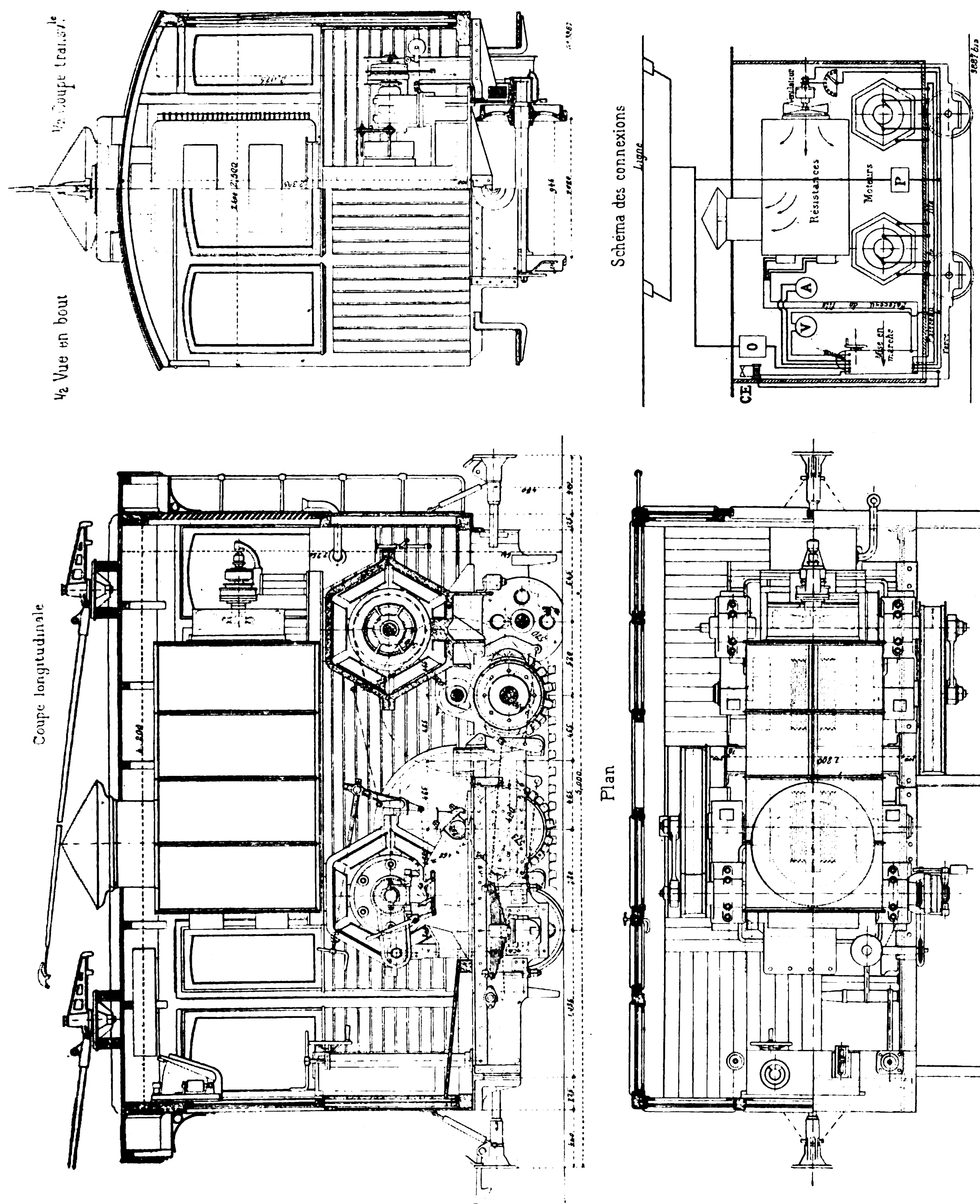


Fig. 9 à 12. — Locomotive électrique à crémaillière.

pouvoir supporter l'intensité du courant de freinage ; pour éviter leur échauffement on y fait passer un courant d'air produit par un ventilateur actionné par un petit moteur branché sur

les résistances; un pare-étincelle électromagnétique est disposé entre les deux dernières touches du cadran des résistances.

Le courant est amené à la locomotive par deux trôlets; ces trôlets sont abaissés pendant la descente.

Outre le freinage électrique, le mécanicien a à sa disposition trois autres moyens de freinage : 1° deux freins à vis, manœuvrés à la main, pour les essieux à roues dentées; 2° un frein à ruban,

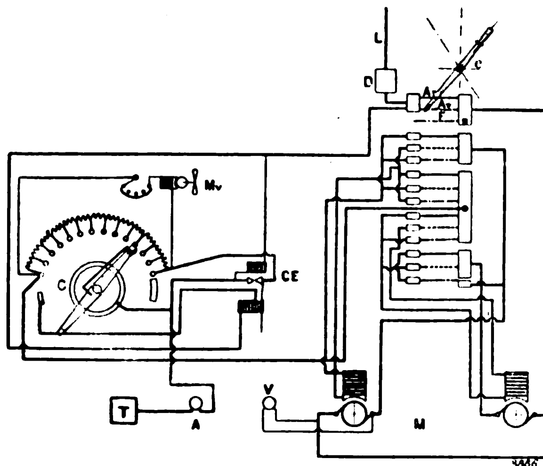


Fig. 13.

Schéma de la mise en marche de la locomotive.

L, ligne; D, déclencheur automatique; C, cadran (mise en marche); c, commutateur; Av, marche avant; Ar, marche arrière; F, frein électrique; M, moteur série; Mv, moteur ventilateur; A, ampèremètre; V, voltmètre; CE, coupe-étincelle; T, terre.

manœuvré à la main, agissant sur les moteurs; 3° un frein à vis agissant automatiquement sur l'essieu-moteur à roue dentée lorsque la vitesse normale est dépassée à la descente, ou que le courant électrique est interrompu pour une cause quelconque.

Dépenses. — Le coût total des installations du chemin de fer, y compris le matériel roulant, est d'environ 1 400 000 fr, qui se répartissent ainsi : 300 000 fr pour le premier tronçon, 870 000 fr pour le deuxième et 230 000 fr pour le troisième. Les dépenses du troisième tronçon sont réduites du fait que la Société ne contribuait à l'établissement de la route de Gryon à Villars que pour un septième, le reste étant à la charge de l'État de Vaud.

J. Reyval.

MESURES

Méthode simple pour examiner la résistance de l'isolation des conducteurs, par Dr. J. Rabinowicz (Oberröslau). *Electrotechnische Zeitschrift*, t. XXII, p. 98, 1901.

L'Association des Electriciens allemands fait une distinction entre les installations à courant de haute intensité (à des tensions jusqu'à 250 volts), les installations à moyenne tension (250 à 1 000 volts) et les installations à haute tension (au-dessus de 1 000 volts).

Les prescriptions à observer, aussi bien pour la construction des machines et la fabrication des conducteurs isolés, que pour les essais électriques de ces derniers, diffèrent suivant la valeur de la tension.

Aux très basses tensions, un conducteur simplement recouvert d'un guipage de coton enduit, peut être considéré comme suffisamment isolé. Pour les moyennes et hautes tensions, on exige une isolation au caoutchouc, qui, après immersion dans l'eau pendant 24 heures, puisse supporter pendant une heure une tension supérieure de 1 000 volts à la tension d'utilisation.

Alors que, dans ces prescriptions, on semble avoir tenu peu compte de la résistance de l'isolation, le projet du comité de surveillance de la Société électrotechnique de Vienne prévoit, pour les conducteurs isolés au caoutchouc, une résistance minimum à l'isolement de 500 à 1 000 mégohms par kilomètre, suivant l'épaisseur de la couche de caoutchouc qui varie de 1 à 3 mm.

Malheureusement tous les installateurs ne sont pas en mesure d'essayer le matériel de canalisation d'une manière convenable, et il arrive généralement qu'ils examinent plutôt la fabrication et l'aspect extérieur des conducteurs, pour en déduire leurs qualités au point de vue électrique.

On ne peut évidemment s'astreindre à immerger dans l'eau chaque couronne de fil dans toute sa longueur, puisqu'un tel bain endommagerait l'enveloppe extérieure du fil, et rendrait sa vente difficile. Pour les conducteurs dont l'isolation est recouverte de fil ou de soie, et qui sont destinés aux installations d'appartements, cette opération est absolument impossible. La méthode suivante, très simple, permet d'examiner la qualité de tout conducteur isolé, en perdant tout au plus 1 m. de ce conducteur.

Le principe de cette méthode est celui qu'in-

diquent Brigt et Clark pour la vérification des soudures. L'électricité qui passe à travers l'isolation charge un condensateur, et celui-ci est déchargé au moyen d'un galvanomètre, après un certain temps qui doit être rigoureusement le même pour les matériaux à comparer.

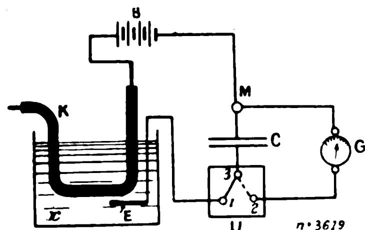


Fig. 1.

Le dispositif employé est représenté par la figure ci-jointe où les lettres désignent :

G. Le galvanomètre ;

U. Un commutateur tripolaire qui permet de relier le pôle 3 à l'un ou l'autre des pôles 1 et 2;

X. Un vase contenant de l'eau, et monté sur support isolant;

K. Un morceau de conducteur à examiner (une longueur de 1 m. de ce conducteur est immergée dans l'eau);

E. Une électrode de cuivre plongée dans l'eau du vase;

B. Une batterie donnant une tension d'environ 20 volts;

C. Un condensateur d'environ 1 microfarad;

M. Une borne de connexion.

Les connexions sont à faire comme suit ;

Un pôle du galvanomètre, un pôle de la batterie et un pôle du condensateur sont reliés à la borne M; le deuxième pôle de la batterie, de préférence le pôle négatif, est relié au câble K, le second pôle du condensateur communique avec la borne 3 du commutateur U, le second pôle du galvanomètre avec la borne 2, l'électrode E avec la borne 1 du commutateur U.

Selon la qualité présumée du conducteur, on charge le condensateur plus ou moins longtemps, en reliant les bornes 1 et 3 du commutateur. Puis on décharge le condensateur à travers le galvanomètre, en mettant la manette du commutateur sur la borne 2 (3,2). Celui des conducteurs à comparer, qui, pour une même durée de la charge, donne la plus faible étincelle au condensateur, est le mieux isolé.

L'auteur a essayé par cette méthode le matériel de canalisation de différentes maisons, et il a trouvé qu'en général les fils isolés au papier imprégné sont préférables aux fils recouverts d'un guipage de coton et imprégnés.

Grâce à l'essai que nous venons de décrire, et qui peut se faire aisément en un temps très court, l'acheteur est en état de comparer les conducteurs de différentes provenances qui lui sont offerts, et de se renseigner sur la qualité de leur isolation.

G. Roesch.

Compteurs d'électricité de la Luxsche Industriwerke A.-G. *Elektrotechnische Rundschau*, t. XVIII p. 186 et 200, 16 juin et 1er juillet 1901.

Les compteurs de la Luxsche Industriewerke A.-G. rentrent dans la catégorie des compteurs-moteurs, type Marcel Deprez.

Le moteur (fig. 1) est composé de deux solénoïdes parcourus par le courant principal et d'un induit en dérivation auquel le courant arrive par des balais en argent. La différence essentielle de ce moteur avec les moteurs habituels est dans l'induit à bobine ouverte au lieu d'un induit à tambour.

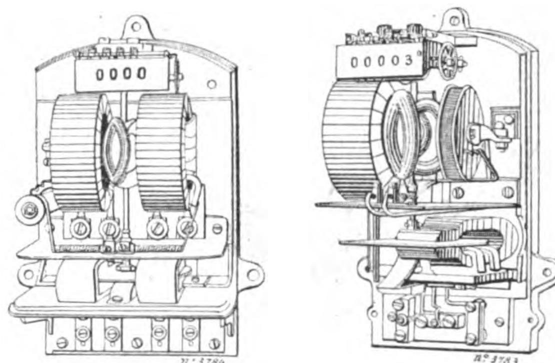


Fig. 1 et 2.

Il se compose de 3 rondelles formant bobines, les extrémités des fils sont reliées aux trois segments du collecteur. les trois autres extrémités sont reliées à un point commun. Cette disposition permet un induit léger et un moteur très sensible. Il n'y a que trois lames de collecteur, de sorte que le diamètre de celui-ci peut être très réduit, le frottement des balais diminué et par suite la sensibilité accrue. La consommation de courant est de 2,5 watts.

Le totaliseur ne présente pas d'aiguilles se déplaçant sur différents cadrans, il est composé

d'une série de tambours parallèles portant les dix chiffres, ce qui facilite la lecture.

Un modèle spécial pour faibles intensités (fig. 2) 2,5 ampères, par exemple, a été créé avec des dimensions assez restreintes ($15 \times 25 \times 16$) grâce à l'emploi d'une seule bobine inductrice.

G. Goisot.

Galvanomètre thermoélectrique Margot. *La Machine*, 3e année, n° 52, p. 160.

Bien que le bolomètre remplace avantageusement la pile de Melloni dans les recherches de précision sur la chaleur rayonnante, cette dernière, reliée à un galvanomètre de précision est suffisante dans beaucoup d'expériences ne demandant pas une extrême sensibilité. Aussi, M. Margot, préparateur à l'université de Genève, a-t-il cherché à réunir, dans un même appareil de construction simple et robuste, la pile et le galvanomètre ; c'est ce qu'il appelle le galvanomètre thermoélectrique.

Fig. 1.

Les figures 1 et 2 donnent une coupe verticale et une coupe horizontale de l'appareil. Celui-ci est constitué, dans sa partie essentielle, d'un bloc de cuivre rouge C de 6 cm de hauteur sur 4 cm de largeur et de profondeur. Ce bloc repose sur une plate-forme métallique à vis calantes dont il est isolé par une feuille de mica. La partie centrale du bloc est percée, sur les trois quarts de sa hauteur par un canal vertical, où se meut librement un aimant A en forme de fer à cheval. Cet aimant est suspendu par un fil de cocon à une potence F, qui sert en même temps de support à l'aimant compensateur N, S dont on règle la hauteur pour obtenir plus ou moins de sensibilité. Un miroir M est fixé à une tige d'aluminium solidaire de l'aimant ; il se meut dans une boîte métallique vissée au bloc de cuivre et ses déplacements sont perçus par l'ouverture G fermée par une glace plane. Sur une des faces du bloc de cuivre, on a pratiqué une entaille triangulaire S qui pénètre jusqu'à la partie centrale et c'est dans cette entaille qu'a été soudé très soigneusement le couple thermoélectrique formé de bismuth d'une part, et d'un alliage d'antimoine et de cadmium d'autre part ; ce dernier alliage a, d'après Ed. Becquerel, une force électromotrice très élevée, d'environ 23 microvolts par degré, tandis que l'antimoine ordinaire n'a que 1,5 microvolt. La ligne de de soudure vue en coupe en S, se raccorde aux deux côtés de l'entaille par deux courbures opposées, et c'est la partie longitudinale S, amincie et noircie, qui reçoit le flux de chaleur pénétrant de l'extérieur dans le capuchon E en cuivre jaune poli intérieurement. Afin que les courants produits à la soudure chaude S circulent autour de l'aiguille aimantée, en suivant le sens indiqué par les flèches, soit du bismuth à l'antimoine en passant par la soudure chaude, le cuivre a été percé de part en part d'une fente centrale de 1,5 mm de largeur, mais seulement dans la partie médiane du bloc, sur une longueur de 35 mm environ ; en outre, deux fentes étroites, mais n'allant pas jusqu'au centre, en *e*, l'une horizontale à gauche et l'autre verticale dans la partie inférieure, bien qu'elles ne soient pas indispensables, ont pour but de forcer les courants à circuler près des pôles de l'aiguille.

Ainsi construit, ce petit appareil de démonstration possède une sensibilité égale à celle d'une pile de Melloni reliée à un galvanomètre très sensible, c'est-à-dire que le flux de chaleur émis par la main de l'opérateur, placée en face de l'embouchure E, ou par celui d'une bougie placée à une certaine distance, suffit pour produire une déviation considérable du miroir.

J. Reyval.

ONDES HERTZIENNES

Recherches expérimentales sur la réflexion métallique des oscillations électriques, par **K.-F. Lindman**. *Dr. Ann.*, t. IV, p. 617-637, mars 1901.

Righi a décrit quelques expériences d'après lesquelles les oscillations hertziennes réfléchies sur un miroir métallique seraient polarisées elliptiquement.

Cette polarisation elliptique ne se concilie pas avec la théorie. Comme l'a montré M. Poincaré, il résulte des équations de Maxwell et de Hertz, qu'en raison de la grande conductibilité des métaux, les propriétés individuelles de ceux-ci ne peuvent guère se manifester vis-à-vis d'oscillations dont la longueur d'onde est de l'ordre de grandeur de celle des oscillations hertziennes. En particulier, des ondes dont la longueur est de l'ordre de 100 cm ne peuvent éprouver par réflexion sur le cuivre qu'une différence de phase égale à π (à 1/100 000e près).

Drude est arrivé à la même conclusion pour les longueurs d'onde de 10 cm; en partant des équations de Maxwell et plus tard en s'appuyant sur la théorie des électrons.

D'après les expériences de M. Lindman, les ondes électriques de 10 cm réfléchies sur le cuivre ne présentent pas de polarisation elliptique appréciable au degré de précision des mesures (environ 2 p. 100).

Les ondes sont produites par un excitateur du modèle Righi, avec quelques modifications. Les étincelles auxiliaires éclatent non dans l'air mais dans le pétrole; les conducteurs primaires sont en forme de cylindres, avec un renflement vis-à-vis des pôles des étincelles auxiliaires (fig. 1).

Comme résonateur, M. Lindman a employé de préférence aux lames de verre argenté de Righi, qui ne donnent que des indications qualitatives, le résonateur de Klemencic, à élément thermoélectrique (fig. 2).

La longueur d'onde propre du résonateur mesurée par la méthode des ondes stationnaires devant un réflecteur ou par la méthode d'interférence de Boltzmann est de 10 cm.

L'excitateur est disposé sur la ligne focale d'un réflecteur parabolique; pour rendre la direction des rayons plus uniforme, il est, en outre, enfermé dans une boîte métallique dont les rayons peuvent sortir seulement par une ouverture circulaire. Au besoin, d'autres diaphragmes percés d'ouvertures de même diamètre sont placés encore sur le trajet des rayons.

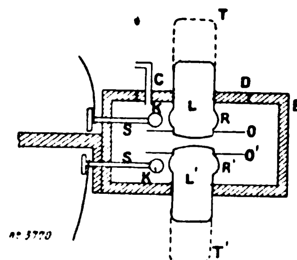


Fig. 1.

E, boîte cylindrique en ébonite, avec couvercle vissé D. — C, ouverture pour l'introduction du pétrole. — L, L', conducteurs primaires, avec pas de vis pour régler leur écartement. — T, T', tubes de métal fixés sur L, L', pour augmenter leur longueur. — R, R', renflements destinés à recevoir les étincelles auxiliaires par S, S', les boules K, K'. — O, O', écrans d'ébonite pour empêcher l'action sur l'étincelle primaire des rayons ultra-violets émis par les étincelles auxiliaires.

Jusqu'à l'incidence de 83°, on peut éliminer par des écrans convenables l'action du rayonnement direct sur le résonateur. Au delà de cette limite il n'en est plus de même; M. Lindman a étudié alors l'interférence du faisceau direct et du faisceau réfléchi.

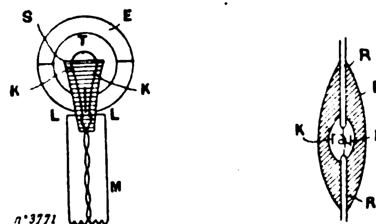


Fig. 2.

L, L, extrémités des fils reliés au galvanomètre et soudées à deux lames de cuivre KK', formant ressort. — E, bloc d'ébonite. — T, couple thermoélectrique. — S, S', disques de cuivre isolés protégeant T contre les effets d'induction. — R, R', tubes de cuivre formant le résonateur proprement dit. — M, manchon de cuivre protégeant les fils L, L', contre l'action des ondes.

Dans aucun cas, quel que fût l'azimut de polarisation et quelle que fût l'incidence, il n'a pu mettre en évidence entre le faisceau incident et le faisceau réfléchi de différence de phase s'écartant de π d'une manière appréciable.

Il est donc vraisemblable que les résultats obtenus par Righi proviennent de perturbations insuffisamment éliminées. M. L.

Note sur la double réfraction des ondes électriques, par **Georges Pierce**. *Philosophical Magazine* [VI], t. I, mai, 1901.

L'auteur a précédemment ([1]) donné une méthode de mesure de l'indice de réfraction des ondes électriques pour un certain nombre de milieux biréfringents : spécialement pour différents bois. Dans la présente note l'auteur examine la question de savoir si, d'après la théorie de Maxwel, la *double* absorption chez ces milieux est suffisante pour rendre compte de la double réfraction ; et, par conséquent, laquelle de ces deux propriétés peut être attribuée uniquement aux différences de conductibilité du bois le long des fibres et perpendiculairement aux fibres. Le mode de calcul employé par l'auteur est identique à celui de Bolzmann (Vorlesungen über Maxwells Theorie, § 96, Leipzig, 1891).

Si nous désignons par f, g, h les composantes du déplacement électrique, les équations du champ dans un milieu conducteur, de conductibilité C, sont alors (Bolzmann, éq. 81),

$$\left.\begin{aligned} \mu k \frac{d^2f}{dt^2} + 4\pi\mu C \frac{df}{dt} &= \frac{d^2f}{dx^2} + \frac{d^2f}{dy^2} + \frac{d^2f}{dz^2}, \\ \mu k \frac{d^2g}{dt^2} + 4\pi\mu C \frac{dg}{dt} &= \frac{d^2g}{dx^2} + \frac{d^2g}{dy^2} + \frac{d^2g}{dz^2}, \\ \mu k \frac{d^2h}{dt^2} + 4\pi\mu C \frac{dh}{dt} &= \frac{d^2h}{dx^2} + \frac{d^2h}{dy^2} + \frac{d^2h}{dz^2}. \end{aligned}\right\} \quad (1)$$

Si maintenant nous considérons une onde plane se propageant suivant la direction de l'axe des z et si nous supposons que le déplacement électrique se fait suivant l'axe des x, il vient alors

$$g = h = 0$$

et f n'est fonction dans ce cas, que de t et de z seulement et le système (1) devient

$$\mu k \frac{d^2f}{dt^2} + 4\pi\mu C \frac{df}{dt} = \frac{d^2f}{dz^2} \quad (2)$$

Une intégrale particulière de cette équation est,

$$f = Be^{\frac{2\pi}{T} ti + (\xi + \eta i) z} \quad (3)$$

ou B, T, ξ, η sont des constantes.

En posant

$$V_0 = \frac{1}{\sqrt{k\mu}}$$

nous obtenons,

$$\left.\begin{aligned} \xi^2 &= -\frac{2\pi^2}{T^2V_0^2} + \sqrt{\frac{4\pi^4}{T^4V_4} + \frac{16\pi^4C^2\mu^2}{T^2}}, \\ \eta^2 &= +\frac{2\pi^2}{T^2V_0^2} + \sqrt{\frac{4\pi^4}{T^4V_0^4} + \frac{16\pi^4C^2\mu^2}{T^2}}. \end{aligned}\right\}$$

L'intégrale (3) est imaginaire, mais deux pareils intégrales combinées, donnent comme solution réelle de (2)

$$f = Ae^{\xi z} \cos\left(\frac{2\pi t}{T} + \eta z\right)$$

$C^{\xi z}$ donne l'amplitude de l'onde ; $\frac{2\pi}{\eta T} = V$ donne la vitesse de propagation. D'où

$$V = \frac{1}{\sqrt{\frac{1}{2V_0^2} + \sqrt{\frac{1}{4V_0^4} + C^2\mu^2T^2}}} :$$

si C^2 est négligeable par rapport à C (c'est-à-dire quand la conductibilité est faible), en développant cette expression, on obtient alors,

$$V = V_0 - \frac{V_0^5C^2\mu^2T^2}{2} \quad (4)$$

et de même

$$\xi = -2\pi C\mu V_0.$$

Ceci en unités électromagnétiques C. G. S. Il résulte de là que V_0, d'après sa définition même $\left(\frac{1}{\sqrt{k\mu}}\right)$, est la vitesse avec laquelle l'onde cheminerait dans le milieu considéré si sa conductibilité était nulle.

Soient, maintenant : D_0 l'amplitude maximum d'une onde à l'entrée d'une couche de diélectrique d'épaisseur z_0 ; D l'amplitude maximum de cette onde à la sortie. Alors,

$$D = D_0e^{\xi z_0}$$

et en posant

$$\frac{D}{D_0} = q.$$

$$\log q = \xi z_0 = -2\pi C\mu V_0 z_0$$

d'où

$$C^2\mu^2 = \frac{\log^2 q}{4\pi^2V_0^2z_0^2}.$$

En substituant cette valeur dans (4) il vient

([1]) *Philosophical Magazine*, Febr. 1901.

finalement,

$$V = V_0 - \frac{V_0^3 T^2 \log^2 q}{8\pi^2 z_0^2}. \qquad (6)$$

Cette équation exprime la relation qui existe entre la vitesse des ondes dans un diélectrique faiblement conducteur et leur absorption par le diéletrique.

Nous avons supposé jusqu'ici que le milieu n'était pas cristallin (dans le sens d'avoir des constantes diélectriques différentes le long des différents axes) mais qu'il était hétérogène de sorte que les conductibilités sont différentes suivant les différents axes. Dans un pareil milieu, V_0 est constant pour une substance donnée, mais le coefficient d'absorption $\frac{\log q}{z_0}$ dépend de la direction de la force électrique dans la substance en question. Si la force électrique est dirigée dans le sens où l'absorption est maximum, V est minimum, et par suite l'indice de réfraction est maximum.

Ces considérations concordent avec les résultats des expériences que l'auteur a faites sur différentes espèces de bois. L'auteur a en effet trouvé que si les fibres sont parallèles au déplacement électrique l'indice de réfraction est plus grand que quand ces fibres sont perpendiculaires à ce déplacement, dans la première orientation l'absorption est donc plus grande que dans la dernière.

Mais revenons aux données expérimentales et appelons V_1 et q_1 les valeurs de V et q quand les fibres sont parallèles au déplacement électrique et V_2 et q_2 les valeurs correspondant aux fibres perpendiculaires à ce dernier. Ces valeurs substituées dans (6) nous donnent deux nouvelles équations qui, combinées, nous conduisent à écrire

$$\frac{V_1 - V_0}{V_2 - V_0} = \frac{\log^2 q_1}{\log^2 q_2};$$

ou encore, en divisant le numérateur et le dénominateur du premier membre, par la vitesse v des ondes dans l'air,

$$\frac{\frac{1}{n_1} - \frac{1}{n_0}}{\frac{1}{n_2} - \frac{1}{n_0}} = \frac{\log^2 q_1}{\log^2 q_2} \qquad (7)$$

et en appelant R^2 le second membre (qui est déterminé par l'absorption) nous aurons finalement:

$$\frac{1}{n_1} = \frac{R^2}{n_2} - \frac{R^2 - 1}{n_0} \qquad (8)$$

où n_1 est l'indice de réfraction suivant la première orientation des fibres, n_2 l'indice de réfraction suivant la seconde orientation des fibres et

$$n_0 = \sqrt{\mu}.$$

Et en comparant alors la valeur de μ calculée au moyen de l'équation (8) avec la constante diélectrique du milieu mesurée par une méthode statique, on voit que l'hypothèse de la conductibilité hétérogène est suffisante pour expliquer la double réfraction des ondes électriques.

Eugène Néculcéa.

Passage des courants électriques à travers les systèmes de résonateurs, par **E. Aschkinass** et **Cl. Schaefer**. *Dr. Ann.*, t. V, p. 489-501, juillet 1901.

Suivant les théories actuelles de la dispersion et de l'absorption, les bandes d'absorption correspondent aux radiations dont la période coïncide avec la période propre des molécules. La substance absorbante est considérée comme constituée par un ensemble de résonateurs électromagnétiques. D'après Kundt, la bande d'absorption d'une substance absorbante dissoute dans un liquide incolore se rapproche d'autant plus de l'extrémité rouge du spectre que le dissolvant est plus réfringent et plus dispersif.

Vis-à-vis des ondes électromagnétiques, un système de résonateurs se comporte comme une substance colorée surperficiellement vis-à-vis des rayons lumineux (Garbasso); il laisse passer une fraction du rayonnement de l'excitateur hertzien d'autant moindre que la période propre des résonateurs est plus voisine de celle du rayonnement (ou plus exactement, de l'indicateur d'ondes employé).

Or, on peut faire varier la période de ces résonateurs en les plongeant dans les diélectriques de pouvoir inducteur différent et réaliser un phénomène analogue à la dissolution d'une substance absorbante.

MM. Aschkinas et Schaefer ont étudié la transparence de ces systèmes de résonateurs pour des ondes hertziennes de 9 cm de longueur environ.

Les rayons sont rendus parallèles par leur passage à travers une bouteille remplie de pétrole qui joue le rôle d'une lentille cylindrique, puis concentrés par un réflecteur sphérique sur l'élément thermoélectrique qui sert d'indicateur. Derrière la lentille est disposé un réseau de fils verticaux qui polarisent complètement les rayons on s'en assure en vérifiant qu'un second réseau pareil, mais dont les fils sont horizontaux intercepte tout le rayonnement.

Les résonateurs sont formés par des lames de clinquant rectangulaires, dont la longueur est égale à environ dix fois la largeur, ce qui permet de les regarder comme linéaires. Tous les résonateurs sont disposés sur un cadre de manière que leurs plans coïncident tous avec celui du cadre.

Dans chaque réseau, les dimensions et l'écartement des résonateurs varient proportionnellement, autrement dit tous ces systèmes sont semblables.

Le réseau peut être plongé dans une cuve à parois d'ébonite renfermant divers liquides isolants : benzène, éther, acétone.

Les courbes de la figure 2, représentent la perte d'intensité (en p. 100) en fonction de la longueur des résonateurs. On reconnaît que le maximum d'absorption se déplace vers les petites longueurs du résonateur quand le pouvoir inducteur du milieu ambiant augmente, ce qui est conforme à la règle de Kundt. En effet, à mesure que le pouvoir inducteur croît, la période du résonateur supposé de longueur constante, augmente. Pour ramener la période à la même valeur (période de l'indicateur), il faudrait donc diminuer la longueur du résonateur, la réduire dans le rapport inverse des racines carrées des pouvoirs inducteurs. Le phénomène pourrait donc servir à la détermination des pouvoirs inducteurs. M. L.

De l'influence des ondes électromagnétiques sur la résistance du sélénium, par **A. Masini**. *Il Nuovo Cimento*, t. I, p. 358, mai 1901.

Agostini avait observé des variations de la résistance incertaine et de l'ordre de grandeur des erreurs d'expériences.

L'auteur, en reprenant les expériences d'Agostini, puis en opérant différemment, n'a observé aucune variation de résistance du sélénium sous l'influence des ondes électromagnétiques.

G.

SOCIÉTÉS SAVANTES ET TECHNIQUES

ACADÉMIE DES SCIENCES

Séance du 26 août 1901.

Sur l'application du principe de l'énergie aux phénomènes électrodynamiques et électromagnétiques, par **E. Sarrau.** *Comptes rendus*, t. CXXXIII, p. 402.

« 1. L'application du principe de l'énergie aux phénomènes électrodynamiques et électromagnétiques présente des particularités qui ne semblent pas avoir été généralement aperçues et sur lesquelles il importe d'appeler l'attention (1).

» 2. *Électrodynamique.* — La loi élémentaire d'Ampère et les autres lois similaires proposées s'accordent à établir que, lorsque des courants linéaires fermés, dont les intensités sont constantes, se déplacent et se déforment, le travail de leurs actions mutuelles est la variation d'une fonction.

$$\varphi = \frac{1}{2} \Sigma \lambda i^2 + \Sigma \mu i i'. \qquad (1)$$

le premier Σ s'étendant à tous les courants et le second à leurs combinaisons deux à deux; i, i', ..., sont les intensités et les coefficients λ (de self-induction) et μ (d'induction mutuelle) ne dépendent que des positions relatives des circuits (1).

(1) Ces particularités ont été signalées par M. Duhem, qui en a fait une étude approfondie (*Leçons sur l'Électricité et le Magnétisme*, t. III, p. 219), par M. Carvallo, dans une courte digression de la *Théorie du mouvement du monocycle et de la bicyclette*, et par moi-même dans l'article *Énergie* de la *Grande Encyclopédie*.

(1) Cette fonction joue ainsi le rôle de *fonction de*

» En général, les intensités varient par suite de l'induction; la fonction φ donne alors le travail élémentaire, dans chaque modification infiniment petite du système, par sa variation prise en considérant les (λ, μ) comme variables et les i comme constants. Cette variation est, relativement à φ considéré comme une fonction des variables (λ, μ, i), une différentielle partielle que nous désignerons par δ, en réservant, comme à l'ordinaire, la lettre d à la différentielle totale.

» *Le travail élémentaire des actions électrodynamiques est ainsi égal à* $\delta\varphi$.

» 3. D'autre part, les recherches des physiciens et des géomètres ont établi que les phénomènes d'induction électrodynamique sont régis par un système d'équations, en nombre égal à celui des courants, dont l'une quelconque, se rapportant au courant dont l'intensité est i, se présente sous la forme

$$e - ri = \frac{d}{dt}\left(\frac{\partial\varphi}{\partial i}\right). \qquad (2)$$

où l'on désigne par e la force électromotrice extérieure au circuit et par r sa résistance.

» La fonction φ qui figure dans ces équations est précisément la fonction (1) qui a été précédemment désignée par la même lettre, $\frac{\partial\varphi}{\partial i}$ est sa dérivée partielle par rapport à i et $\frac{d}{dt}$ désigne la dérivée totale par rapport au temps.

» 4. Ces faits étant admis, voici les conséquences qui s'en déduisent par l'application, inaugurée par Helmholtz et W. Thomson, du *principe de l'énergie*.

» Ce principe s'énonce comme il suit : L'énergie Q fournie directement à un système matériel, sous forme de chaleur ou d'électricité, par les corps extérieurs, est égale à la variaiton de son énergie interne U, plus la variation de sa force vive sensible θ, moins le travail $\mathfrak{T}_e$ des forces extérieures, ce qui s'exprime par l'équation

$$Q = \Delta U + \Delta\theta - \mathfrak{T}_e. \qquad (3)$$

» Suivant la mécanique rationnelle l'énergie interne U se compose de deux parties : l'une *cinétique* correspondant à la force vive des mouvements internes (thermiques ou électriques), l'autre *potentielle* correspondant au travail des forces intérieures que l'on suppose former un système conservatif. Les mêmes notions montrent de plus, et il importe de le bien observer, que la variation de la partie potentielle est égale au travail des forces intérieures *pris avec le signe contraire*, l'énergie potentielle étant un *potentiel* et non une *fonction de forces*.

» 5. On met souvent l'équation (3) sous une autre forme : désignant par $\mathfrak{T}_i$ le travail des forces intérieures qui, composées avec les forces extérieures, produisent la force vive sensible, on a $\Delta\theta = \mathfrak{T}_i + \mathfrak{T}_e$ et de l'équation (3) résulte cette nouvelle relation

$$Q = \Delta U + \mathfrak{T}_i.$$

qui devient

$$dQ = dU + d\mathfrak{T}_i \qquad (4)$$

pour une modification infiniment petite.

» 6. Appliquons l'équation (4) à un système de courants. L'énergie voltaïque absorbée pendant le temps dt est $\Sigma ei\,dt$, et la chaleur dégagée par l'effet Joule est $\Sigma ri^2\,dt$, de sorte que $dQ = \Sigma ei\,dt - \Sigma ri^2\,dt$.

» L'énergie U se compose de l'énergie U_0 du système à l'état naturel plus l'énergie électrodynamique h développée par les courants ; on a donc $dU = dU_0 + dh$, ou simplement $dU = dh$, le système des circuits étant supposé n'éprouver aucun changement physique ou chimique.

» Enfin les forces intérieures à considérer sont les forces électrodynamiques d'Ampère, dont le travail, d'après ce qui a été dit plus haut (n° 2), est égal à $\delta\varphi$.

» L'équation (4) devient ainsi

$$\Sigma\,(e - ri)\,i\,dt = dh + \delta\varphi. \qquad (5)$$

» Or, si on multiplie par $i\,dt$ chacune des équations (2) et si l'on fait la somme des produits, il vient

$$\sum (e - ri)\,i\,dt = \sum i\,d\left(\frac{\partial\varphi}{\partial i}\right).$$

d'où résulte, d'après (5),

$$dh = \sum i\,d\left(\frac{\partial\varphi}{\partial i}\right) - \delta\varphi. \qquad (6)$$

---

forces suivant la dénomination employée par Jacobi et Hamilton, et non de *potentiel*, cette dernière quantité étant, suivant la dénomination généralement adoptée, la fonction des forces prises avec le signe contraire.

On a, d'ailleurs, par le théorème des fonctions homogènes, $\sum i \frac{\partial \varphi}{\partial i} = 2\varphi$, ou bien

$$\sum i \frac{\partial \varphi}{\partial i} - \varphi = \varphi.$$

et, en différentiant totalement cette dernière équation, il vient

$$\sum id\left(\frac{\partial \varphi}{\partial i}\right) + \sum \frac{\partial \varphi}{\partial i}\, di - d\varphi = d\varphi.$$

ou, ce qui est la même chose,

$$\sum id\left(\frac{\partial \varphi}{\partial i}\right) - \delta\varphi = d\varphi. \qquad (7)$$

La relation (6) devient ainsi $dh = d\varphi$; l'énergie électrodynamique h serait donc, à une constante près, égale à la fonction φ.

» Par suite, en différentiant par rapport aux seuls paramètres de position, on aurait $\delta h = \delta\varphi$, de sorte que *le travail élémentaire $\delta\varphi$ des forces électrodynamiques serait la variation de l'énergie et non cette variation prise avec le signe contraire*, résultat incompatible avec la définition même de l'énergie.

» 7. Électromagnétisme. — Considérons maintenant les phénomènes électromagnétiques.

» Il résulte de la loi élémentaire de Laplace que le travail des actions qui s'exercent entre un système de courants fermés, dont les intensités sont constantes, et un système de pôles dont les charges magnétiques sont constantes, est la variation d'une fonction

$$\varphi_1 = \Sigma \alpha m i, \qquad (8)$$

i étant l'intensité de l'un des courants, m la charge de l'un des pôles, α une quantité ne dépendant que des positions relatives du courant et du pôle et le Σ s'étendant aux combinaisons deux à deux des courants et des pôles.

» Par suite, dans le système tout entier, le travail intérieur est la variation de la fonction

$$f = \varphi + \varphi_1 + \varphi_2, \qquad (9)$$

dans laquelle les quantités φ, φ_1, φ_2 se rapportent respectivement aux actions mutuelles des courants, des courants et des pôles, des pôles. La première et la deuxième de ces quantités sont données par les formules (1) et (8), la troisième n'est autre que la fonction des *forces magnétiques* de Coulomb.

» Lorsque les intensités et les charges varient, la variation δ de la fonction f, prise en considérant les (i, m) comme constants, donne comme précédemment le travail intérieur d'une modification infiniment petite du système : *Le travail élémentaire des actions électrodynamiques, électromagnétiques et magnétiques est ainsi égal à δf.*

» 8 Dans le cas général, les lois de l'induction électromagnétique sont complexes et imparfaitement connues ; nous supposons le système simplement formé par des courants et des aimants permanents.

» La fonction φ_1 se réduit alors à une forme linéaire

$$\varphi_1 = \Sigma a i \qquad (10)$$

dans laquelle, l'aimantation étant supposée constante, chaque coefficient a ne dépend que de la configuration du système, et l'on admet généralement que l'induction dans l'un des circuits est régie par l'équation

$$e - ri = \frac{d}{dt}\left(\frac{\partial \varphi}{\partial i} + a\right) \qquad (11)$$

analogue à l'équation (2).

» 9. Cela posé, si l'on admet que la seule chaleur dégagée soit celle de l'effet Joule des courants, le principe de l'énergie donne, comme dans le cas d'un système électrodynamique (n° 6),

$$\Sigma (e - ri)\, idt = dh + \delta f, \qquad (12)$$

h étant l'énergie développée, et il est à remarquer que, dans l'hypothèse admise, la variation $\delta\varphi_1 = \Sigma \delta a i$ peut aussi s'écrire Σdai, puisque, vu la constance de l'aimantation, chaque coefficient a ne dépend que des paramètres de position ; pour le même motif, on peut écrire $d\varphi_2$ au lieu de $\delta\varphi_2$, de sorte qu'en remplaçant f par sa valeur (9) l'équation ci-dessus devient

$$\Sigma (e - ri)\, idt = dh + \delta\varphi + \Sigma dai + d\varphi_2. \qquad (13)$$

» Or, si l'on ajoute les équations (11) multipliées respectivement par idt, on trouve

$$\Sigma (e - ri)\, idt = \sum id\left(\frac{\partial \varphi}{\partial i}\right) + \Sigma dai \qquad (14)$$

et, par la comparaison des équations (13) et (14),

$$dh = \sum id\left(\frac{\partial\varphi}{\partial i}\right) - \delta\varphi - d\varphi_2 \qquad (15)$$

ou enfin, d'après la relation (7),

$$dh = d\varphi - d\varphi_2. \qquad (16)$$

» Il en résulterait que l'énergie h serait, à une constante près, égale à $\varphi - \varphi_2$, c'est-à-dire serait la somme de la fonction des forces électrodynamiques et du potentiel des forces magnétiques. La somme Σdai ne figure pas dans l'expression (16), de sorte que *l'énergie interne d'un système de courants fermés et d'aimants permanents ne renfermerait aucun terme dépendant de la situation relative des courants et des aimants.*

» Ce résultat a été signalé par Vaschy et par M. Duhem [1]; c'est avec raison que M. Duhem le qualifie de *paradoxal*, car le terme absent est précisément celui dont la variation, prise avec le signe contraire, devrait, d'après la signification généralement attribuée à l'énergie, représenter le travail élémentaire des forces électromagnétiques.

» 10. En fait les lois des actions mutuelles considérées comme des forces effectives et les lois de l'induction ne s'accordent pas avec le principe de l'énergie [2]. »

Sur le mode de fonctionnement des freins dans les automobiles, par **A. Petot**, *Comptes rendus*, t. CXXXIII, p. 410.

Quand toutes les roues d'un automobile sont munies de freins, on sait que l'effort maximum de retard est égal, sur une route horizontale, au produit Pf du poids total par le coefficient d'adhérence. De là, une accélération négative donnée, en valeur absolue, par la formule

$$\gamma = g\left(f + \frac{A}{P}\right) \qquad (1)$$

où l'on peut négliger le terme variable très faible $g\,\frac{A}{P}$ dû à la résistance de l'air. D'ailleurs, pour obtenir ce freinage maximum, on doit appuyer aussi fortement que possible les sabots sur la jante des roues, sans cependant atteindre la pression qui produirait le calage.

Pour tenir compte de la force vive de rotation des masses tournantes, on a proposé de remplacer la formule (1) par la suivante :

$$\gamma = fg\,\frac{P}{P'} \qquad (2)$$

où la lettre P' désigne un poids fictif, appelé *poids d'inertie*, défini par la condition que la demi force vive totale de la voiture soit égale à $\frac{1}{2}\,\frac{P'v^2}{g}$.

Ce poids P' est d'ordinaire très peu supérieur à P, excepté cependant pour les tramways électriques, où il est environ égal à 1,3 P. La seconde valeur de γ est alors notablement inférieure à la première ; et l'on pourrait croire qu'il est impossible d'arrêter un tramway électrique aussi rapidemement qu'un autre véhicule, dans les mêmes conditions de vitesse et d'adhérence. L'objet de la note de M. Petot est de montrer que c'est là une erreur, tenant à une interprétation inexacte du rôle de l'adhérence pendant le freinage et qu'en réalité la formule (1) est toujours applicable [1].

Séance du 2 septembre 1901.

Sur l'application des équations de Lagrange aux phénomènes électrodynamiques et électromagnétiques, par **E. Sarrau**, *Comptes rendus*, t. CXXXIII, p. 421.

« 1. Lorsque l'état dynamique d'un système à liaisons indépendantes du temps est défini

[1] A. Vaschy, *Traité d'Électricité et de Magnétisme*, t. I, p. 318, Paris, 1890. — P. Duhem, *loc. cit.*, p. 386.

[2] Cet accord peut toutefois s'établir, sans recourir, comme l'a fait M. Duhem (*loc. cit.*, p. 234), à une énergétique plus générale que celle de la Mécanique rationnelle, en adoptant les vues de Maxwell qui regarde comme purement *cinétique* l'énergie d'un système de courants et d'aimants. Les actions mutuelles sont alors des forces non *effectives*, mais *apparentes*, dont le travail élémentaire est, *en grandeur et signe*, la variation partielle de l'énergie ; quant aux lois de l'induction, elles s'obtiennent très simplement par une application remarquable des équations de Lagrange.

[1] Voici la démonstration :
Soient Q la pression exercée par le sabot normalement à la jante d'une roue ; R et r le rayon de cette roue et celui de la fusée ; I le moment d'inertie d'une roue, y compris au besoin la moitié de l'essieu, par rapport à l'axe de rotation ; N la réaction normale du sol ; T la fraction utilisée de l'adhérence ; $\mathfrak{N}$ et $\mathfrak{N}'$ les réactions

par r paramètres indépendants $(q_1, q_2, \dots, q_r)$, sa force vive T est une fonction quadratique homogène des dérivées q'. dont les coefficients sont fonctions des variables q. Celles-ci sont déterminées en fonction du temps par les *équations de Lagrange*, dont le nombre est égal à celui des paramètres et dont l'une quelconque est de la forme

$$\frac{d}{dt}\left(\frac{\partial T}{\partial q'}\right) - \frac{\partial T}{\partial q} = Q. \qquad (1)$$

» Le second membre Q est défini par cette condition que Qdq représente le travail des forces directement appliquées correspondant à la variation dq du paramètre q; le travail de ces forces, pour une modification infiniment petite du système, est ainsi $\Sigma Q dq$.

» 2. Des applications de ces équations ont été faites par Helmholtz aux phénomènes thermiques, par Maxwell aux phénomènes électrodynamiques. Dans ces recherches, où les phénomènes sont considérés, au fond, comme les manifestations de mouvements internes inappréciables autrement à nos sens, on suppose que l'état physique d'un système peut être défini par des paramètres analogues à ceux qui, dans la Mécanique ordinaire, définissent les mouvements sensibles. On conçoit alors l'état le plus général d'un système comme défini par deux catégories distinctes $(x_1, x_2, \dots, x_n)$ $(y_1, y_2, \dots, y_n)$ de paramètres se rapportant, les premiers aux mouvements sensibles, les seconds aux mouvements internes. Ces deux catégories de variables forment l'ensemble des paramètres q de la théorie générale.

» 3. La force vive T est une fonction quadratique des dérivées $(x'\ y')$ dont les coefficients devraient être considérés *a priori* comme fonctions des (x, y), Les hypothèses restrictives que l'on fait à ce sujet sont les suivantes :

» 1° La forme T est la somme de deux autres T_x, T_y ne contenant, la première que les x', la seconde que les y' ;

» 2° Les coefficients de cette forme ne dépendent pas des y.

» Pour justifier sommairemet ces hypothèses, il suffit de supposer que les y ont des variations rapides avec des valeurs moyennes constantes. Alors, en effet, la valeur moyenne des termes tels que $Ax'y'$ est sensiblement nulle, de sorte que la forme bilinéaire qu'il faudrait ajouter à $T_x + T_y$ pour avoir la valeur complète de T, disparaît dans tous les calculs où les valeurs moyennes sont seules considérées.

» D'autre part, on s'explique ainsi l'absence

égales et directement opposées qui s'exercent entre la fusée et le coussinet ; φ l'angle de frottement de la fusée ; δ le paramètre de résistance propre au roulement ; f' le coefficient de frottement du sabot sur la jante de la roue.

Que l'on tienne compte ou non de la force vive de rotation des masses tournantes, on a toujours, en palier et alignement droit, les équations

$$\Sigma N = P, \quad \frac{P\gamma}{g} = A + \Sigma T, \qquad (3)$$

et en outre, pour chaque roue, l'inégalité

$$T < fN. \qquad (4)$$

D'ailleurs, pendant le freinage, les masses tournantes reliées cinématiquement aux roues s'arrêtent plus vite qu'elles ne le feraient d'elles-mêmes, sous l'action de leurs seules résistances passives. Elles reçoivent donc de ces roues des efforts résistants et, par suite, elles leur impriment inversement des efforts moteurs. Soit, pour une roue freinée, ψ le moment résultant de ces dernières forces par rapport à l'axe de rotation de cette roue ; le théorème des moments donne l'équation

$$T + \frac{\psi}{R} + \frac{I\gamma}{R^2} = Qf' + \frac{N\delta + \mathcal{N} r \sin\varphi}{R}, \qquad (5)$$

et l'on en déduit, pour le maximum pratique de la pression Q, la valeur

$$Q_1 = \frac{1}{f'}\left(fN - \frac{N\delta + \mathcal{N} r \sin\varphi}{R} + \frac{I\gamma}{R^2} + \frac{\psi}{R}\right). \qquad (6)$$

Si maintenant on rapproche les équations (3) des inégalités (4), on obtient, dans tous les cas, la formule (1) ; et l'on reconnaît que la valeur maxima de l'accélération de retard n'est pas modifiée par la plus ou moins grande force vive de rotation des masses tournantes, telles que les roues, les essieux, les armatures et les engrenages de transmission.

Cela paraît d'abord paradoxal ; mais les équations (5) et (6) montrent bien comment les choses se passent. Le travail résistant demandé aux freins est, en effet, augmenté de ce qu'il faut pour annuler la force vive de rotation des masses tournantes ; mais, en même temps, à cause des termes I $\frac{\gamma}{R^2}$ et $\frac{\psi}{R}$, la limite pratique Q_1 de la pression des freins se trouve reculée, de manière que l'on puisse produire ce supplément de résistance sans bloquer les roues.

Dans ce qui précède, on a seulement considéré le mouvement en palier et les freins à sabots ; mais on arrive à la même conclusion, quels que soient le profil de la route et le mode de freinage adopté.

des y dans les coefficients de T, car les valeurs moyennes de ces coefficients dépendent principalement des valeurs moyennes des y, lesquelles sont supposées constantes.

» 4. Les équations de Lagrange, relatives à un paramètre x et à un paramètre y, se présentent sous la forme :

$$\frac{d}{dt}\left(\frac{\partial T}{\partial x'}\right) - \frac{\partial T}{\partial x} = X,$$

$$\frac{d}{dt}\left(\frac{\partial T}{\partial y'}\right) - \frac{\partial T}{\partial y} = Y,$$

et comme on a, d'après les hypothèses admises,

$$\frac{\partial T}{\partial x'} = \frac{\partial T_x}{\partial x'} \qquad \frac{\partial T}{\partial x} = \frac{\partial T_x}{\partial x} + \frac{\partial T_y}{\partial x}.$$

$$\frac{\partial T}{\partial y'} = \frac{\partial T_y}{\partial y'} \qquad \frac{\partial T}{\partial y} = 0,$$

on obtient ces deux groupes d'équations

$$\frac{d}{dt}\left(\frac{\partial T_x}{\partial x'}\right) - \frac{\partial T_x}{\partial x} = X + \frac{\partial T_y}{\partial x}, \qquad (2)$$

$$\frac{d}{dt}\left(\frac{\partial T_y}{\partial y'}\right) = Y. \qquad (3)$$

» Les équations du premier groupe ne diffèrent, de celles qui régiraient les mouvements sensibles s'il n'y avait pas de mouvements internes, que par la présence, dans chaque second membre, du terme $\frac{\partial T_y}{\partial x}$.

» L'effet qui en résulte est le même que si, aux forces *effectives* dont le travail est $X dx$, s'adjoignaient d'autres forces dont le travail fût $\frac{\partial T_y}{\partial x} dx$. Le travail élémentaire du système de ces forces *apparentes* est la somme

$$\sum \frac{\partial T_y}{\partial x} dx$$

étendue à tous les paramètres x, c'est-à-dire la différentielle partielle δT_y prise en ne faisant varier que ces paramètres. Ce travail est ainsi, en grandeur et signe, la variation partielle de l'énergie interne.

» 5. Électrodynamique. — Considérons maintenant un système mobile de courants fermés à chacun desquels corresponde un paramètre y en supposant, avec Maxwell, que la dérivée y' de ce paramètre par rapport au temps soit l'intensité i de ce courant.

» L'énergie cynétique T_y est alors une fonction quadratique des variables i que l'on peut mettre sous la forme

$$(4) \qquad \varphi = \frac{1}{2}\sum \lambda i^2 + \sum \mu i i'$$

de notre précédente Communication, et la variation δ de cette fonction, dont les coefficients (λ, μ) ne dépendent que des paramètres x, donne le travail élémentaire des forces apparentes qui correspondent aux forces électrodynamiques d'Ampère.

» La formule (3), qui caractérise les équations du second groupe, devient

$$\frac{d}{dt}\left(\frac{\partial \varphi}{\partial i}\right) = Y,$$

et le second membre Y est tel que $Y dy$ est le travail correspondant à la variation dy ; ce travail peut encore s'écrire $Y y' dt$. Or, sur le circuit correspondant, ce travail se compose du travail électromoteur $ei\,dt$ fourni par la pile et du travail résistant $- ri^2\,dt$ équivalent à la chaleur dégagée par l'effet Joule ; on a donc $Y\,i\,dt = ei\,dt - ri^2\,dt$, c'est-à-dire $Y = e - ri$. Les équations (3) deviennent, par suite,

$$(5) \qquad e - ri = \frac{d}{dt}\left(\frac{\partial \varphi}{\partial i}\right),$$

et elles s'accordent avec celles qui régissent les phénomènes d'induction électrodynamique.

» 6. Électromagnétisme. — Ces résultats s'étendent immédiatement aux systèmes formés par des courants et des aimants, si l'on considère, avec Ampère et Maxwell, les aimants comme des systèmes de courants particulaires fermés.

» Si, désignant, comme précédemment, par i l'intensité de l'un des courants proprement dits du système, on appelle j celle de l'un des courants élémentaires magnétiques, l'énergie cinétique interne T_y est une fonction quadratique des variables (i, j), que l'on peut considérer comme la somme :

» 1° D'une fonction quadratique φ des variables i ;

» 2° D'une fonction bilinéaire φ_1 des variables (i, j) ;

» 3° D'une fonction quadratique φ_2 des variables j.

$$T_y = \varphi + \varphi_1 + \varphi_2. \qquad (6)$$

Les coefficients de ces fonctions ne dépendent que des paramètres x, et la différentielle δT_y relative à ces paramètres donne le travail élémentaire des actions mutuelles apparentes.

» Le terme φ_1 se rapportant aux actions réciproques des courants et des aimants n'est pas égal à zéro, comme dans la théorie ordinaire; c'est, au contraire, ce terme qui, par sa différentielle δ, donne le travail élémentaire des forces électromagnétiques.

» Ce même terme intervient également dans les équations qui régissent l'induction dans les circuits; en effet, en le supposant ordonné par rapport aux variables i, sous la forme $\varphi_1 = \Sigma ai$, on a $\frac{\partial \varphi_1}{\partial i} = a$ et, par suite, d'après (6), en observant que φ_2 ne dépend pas des variables i,

$$\frac{\partial T_y}{\partial i} = \frac{\partial \varphi}{\partial i} + a.$$

» La formule (3) conduit ainsi à l'équation

$$(7) \qquad e - ri = \frac{d}{dt}\left(\frac{\partial \varphi}{\partial i} + a\right)$$

et le système des équations similaires se rapportant aux circuits est bien celui que l'on admet comme régissant dans ces circuits l'induction électrodynamique et électromagnétique.

» 7. Tous ces résultats s'accordent naturellement avec le *principe de l'énergie*, puisque ce principe n'est qu'une forme du théorème de la force vive et que celui-ci est une conséquence des équations générales (1); mais, pour que cet accord existe, il semble nécessaire d'admettre que l'énergie interne d'un système de courants et d'aimants est purement *cinétique*, sans partie *potentielle*, et d'attribuer, par suite, le caractère de *forces d'inertie* aux actions mutuelles du système. »

Séance du 16 septembre 1901 (¹).

Sur l'emploi simultané de la télégraphie multiplex et de la télégraphie ordinaire dans le même circuit, par **E. Mercadier**. *Comptes rendus*, t. CXXXIII, p. 472.

On sait qu'à l'aide de dispositifs variés (appareils Van Rysselberghe, Maiche, Cailho, Picard, etc.) placés en dérivation sur un circuit téléphonique, on peut envoyer *simultanément*, dans le circuit, des signaux téléphoniques et des signaux provenant d'appareils de télégraphie ordinaire, Morse, Hughes, etc. Ce résultat tient à la différence entre les propriétés et les effets des courants continus et ceux des courants ondulatoires produits dans les appareils téléphoniques. Il doit donc en être de même pour tout système de télégraphie, autre qu'un téléphone, utilisant des courants ondulatoires pour la formation des signaux, par exemple le système de télégraphie multiplex de M. Mercadier.

M. Mercadier a eu récemment l'occasion de vérifier ce point, et c'est la description des résultats obtenus qui fait l'objet de sa communication (¹).

(¹) Aucune communication se rapportant à l'électricité n'a été faite à la séance du 9 septembre.

(¹) En faisant, dit-il, au mois de juillet dernier, des essais de télégraphie multiplex sur un circuit de Paris à Bordeaux, et en utilisant l'un des dispositifs indiqués ci-dessus (celui de M. Cailho), on a vu qu'on pouvait, pendant des heures entières, faire transmettre et recevoir des télégrammes dans le système multiplex à courants ondulatoires par plusieurs opérateurs (jusqu'à douze à la fois), et, *pendant le même temps, sans même que ces opérateurs s'en aperçussent*, faire transmettre et recevoir, avec un appareil Morse, un appareil Hughes, et même un appareil Baudot à quatre claviers, des signaux quelconques, des avis de service, des télégrammes, en utilisant ainsi des courants continus.

Ce résultat a été obtenu, non seulement dans les stations extrêmes Paris et Bordeaux, mais encore dans une station intermédiaire établie à Tours, dans le même circuit.

Ces expériences n'ont d'ailleurs présenté aucune difficulté, et elles n'ont nécessité aucune espèce de modifications aux appareils de télégraphie ordinaire et multiplex. Leur importance, au point de vue scientifique et à celui de l'exploitation intensive des réseaux télégraphiques, paraîtra sans doute évidente : car, d'une part, elles montrent qu'en un point d'un circuit métallique on peut, à chaque instant, faire croiser sans qu'ils se confondent jusqu'à vingt-cinq mouvements électriques simultanés, confirmation expérimentale remarquable de la loi mécanique des petits mouvements ; et, d'autre part, que, soit entre deux postes extrêmes reliés par un circuit de 700 km à 800 km de longueur, soit entre des postes échelonnés le long de ce circuit, on peut échanger plus de 1300 télégrammes de 20 mots par heure, dont plus de 900 dans n'importe quel sens.

Pour donner une idée simple de la rapidité des transmissions qu'on peut obtenir ainsi, il suffit de dire que le texte d'une page d'un grand journal, comme le *Temps*, qui peut renfermer jusqu'à 9000 mots environ, serait transmis de Paris à Bordeaux : par le système multiplex

Séance du 23 septembre 1901.

La destruction des papillons nocturnes au moyen de pièges lumineux alimentés par le gaz acétylène, par **G. Gastine** et **V. Vermorel.** *Comptes rendus*, t. CXXXIII, p. 488.

Après l'emploi du carbure de calcium pour combattre le phyloxéra, voici maintenant qu'on préconise un dérivé de ce produit pour détruire un autre ennemi de la vigne, la pyrale.

Les expériences ont été faites, cette année, dans le Beaujolais, où ce lépidoptère a été extrêmement abondant. Les lampes sont à bec à air libre, diposé à 12 ou 15 cm au-dessus d'un bassin métallique de 40 à 50 cm de diamètre contenant une couche d'eau et une couche d'huile de pétrole. Le générateur, situé au-dessous du bassin et fixé par une douille sur un piquet plus ou moins haut, contient 150 gr de carbure. On détruisit en moyenne 940 papillons par lampe et par nuit (le maximum atteignit 2210). La dépense par lampe est de 8 centimes; en disposant les lampes en carré et à 50 m les unes des autres, la dépense par hectare est donc de 32 centimes; en comptant 20 nuits d'allumage par saison, ce moyen de destruction, qui semble très efficace, ne revient donc qu'à 6 fr. 40 par hectare.

Séance du 30 septembre 1901

Sur l'état variable des courants, par **A. Petot.** *Comptes-rendus*, t. CXXXIII, p. 510.

« Quand on veut étudier théoriquement la manœuvre du combinateur dans les automobiles électriques, on est d'abord arrêté par ce fait, que l'on ne connaît pas les lois d'après lesquelles certaines résistances passent de zéro à l'∞, ou inversement. J'ai été ainsi conduit à chercher s'il n'existait pas, dans les problèmes sur l'état variable des courants, des résultats que l'on pût énoncer, sans connaître les lois de variation des diverses résistances.

» Supposons, par exemple, que l'on veuille introduire un rhéostat H dans un circuit P, parcouru par un courant sous l'action d'une force électromotrice constante E. Les extrémités du rhéostat aboutissent à deux bornes A et B, placées sur le circuit P, et séparées par une résistance négligeable. Il suffit alors, pour le mettre en circuit, d'interposer entre A et B une résistance supplémentaire ρ, variant de zéro à l'∞.

» Soient R et L la résistance et le coefficient de self-induction du circuit P; r et l les mêmes éléments pour le rhéostat; x, y et z les intensités des courants à l'instant t, dans P, ρ et H. On doit ici distinguer une première période pendant laquelle ρ varie de zéro à l'∞ et une seconde pendant laquelle les courants tendent vers leur régime normal.

» A la fin de la première, y s'annule tandis que x et z prennent une certaine valeur I_1. Pendant la seconde, si les coefficients de self-induction restent constants, on sait que l'on a

$$x = z = \frac{E}{R+r} + \left(I_1 - \frac{E}{R+r}\right) e^{-\frac{t(R+r)}{L+l}}, \quad (1)$$

mais il reste à déterminer I_1, et cela exige en général que l'on connaisse la loi des variations de la résistance ρ. Voici, conformément à ce que l'auteur a annoncé plus haut, deux cas où l'on peut déterminer I_1, sans connaître cette loi :

» 1° Quand la résistance ρ passe de zéro à l'∞ dans un temps très court t_1, il vient

$$I_1 = \frac{E}{R} \frac{L}{L+l} + \varepsilon, \quad (2)$$

où ε tend vers zéro en même temps que t_1.

» Si ce temps t_1 est très petit par rapport aux deux constantes de temps τ et τ' des deux circuits P et H, on peut dans la pratique négliger ε. L'intensité à la fin de la première période est ainsi inférieure, égale ou supérieure à l'intensité normale $\frac{E}{R+r}$, suivant que la constante de temps du circuit principal P est inférieure, égale ou supérieure à la constante de temps du rhéostat H.

» On a, en outre, pour l'énergie potentielle dissipée dans la résistance ρ, sous forme d'éner-

---

seul, comportant douze transmetteurs (en découpant ce texte en douze parties), dans l'espace d'une heure seulement ; par le multiplex et un Baudot à quatre claviers opérant *simultanément* (en découpant le texte en seize parties), dans une demi-heure environ ; de plus, *pendant cette même demi-heure*, le poste de Bordeaux pourrait transmettre à Paris par le multiplex, avec les mêmes appareils, un texte équivalent à une demi-page du même journal.

gie thermique,

$$W = \frac{l}{2} \frac{E^2}{R^2} \frac{L}{L + l} \cdot \qquad (3)$$

» D'ordinaire, dans ces mêmes conditions, on admet que l'intensité I_1 reste sensiblement égale à $\frac{E}{R}$; la formule (2) montre que c'est là une erreur, car le coefficient $\frac{L}{L+l}$ peut être très différent de l'unité.

» Quand les deux constantes de temps τ et τ' sont égales, les équations du problème admettent une combinaison intégrable, qui donne

$$Rx + rz = E. \qquad (4)$$

» Comme en a en outre

$$x = y + z, \qquad (5)$$

il vient

$$x = \frac{E + ry}{R + r}, \quad z = \frac{E - ry}{R + r} \qquad (6)$$

et l'on voit que le courant prend sa valeur de régime dans les circuits P et H, aussitôt qu'il est interrompu dans la résistance ρ ; cela, quelle que soit la loi des variations de cette résistance, sans aucune hypothèse restrictive sur leur durée. Si l'on se donne en outre cette dernière loi, on obtient pour déterminer y en fonction du temps une équation linéaire et du premier ordre ; le problème est ainsi ramené à deux quadratures.

» On obtient des résultats analogues aux précédents, lorsque le circuit dérivé H est le primaire d'une bobine d'induction ; je vais les indiquer brièvement. Soient, en conservant les notations précédentes, r_1, l_1 et τ_1 les éléments du circuit secondaire H_1 ; u l'intensité du courant dans ce circuit à l'instant t ; u_1 cette intensité à la fin de la première période ; M le coefficient d'induction, défini par la relation

$$ll_1 - M^2 = M^2 = l_1 \lambda. \qquad (7)$$

» Quand la résistance ρ passe brusquement de zéro à ∞, on a les formules

$$I_1 = \frac{E}{R} \frac{L}{L + \lambda}, \quad u_1 = -\frac{M}{l_1} I_1, \qquad (8)$$

$$W = \frac{\lambda}{2} \frac{E^2}{R^2} \frac{L}{L + \lambda}, \qquad (9)$$

qui sont d'autant plus exactes que le temps t_1 est plus court.

» Dans le cas particulier où l'on a

$$M^2 = rr_1(\tau - \tau')(\tau - \tau_1), \qquad (10)$$

les équations du problème admettent une combinaison intégrale, qui donne la relation

$$Rx + rz + u\sqrt{\frac{rr_1(\tau - \tau')}{\tau - \tau'}} = E, \qquad (11)$$

et l'on en déduit des conséquences analogues à celles qui ont été développées plus haut.

» Les résultats précédents appartiennent à deux formes : les uns supposent que le temps t_1 est très court ; les autres, qu'il existe certaines relations déterminées entre les éléments des divers circuits. Je les ai indiqués sur des exemples particuliers, mais on les rencontre toutes les fois que l'état variable d'un système de courants est dû à ce que certaines résistances passent de zéro à ∞.

» Les problèmes inverses s'étudient de la même manière, mais les résultats que l'on obtient peuvent être tout différents. Par exemple, dans le cas du rhéostat, quand la mise hors circuit est très brusque, les intensités x et z ont encore sensiblement leur valeur initiale $\frac{E}{R+r}$ à la fin de la première période.

» Parmi les problèmes d'ordre pratique que les considérations précédentes m'ont permis d'étudier, j'indiquerai, en particulier, celui de la commutation dans les dynamos à courants continus ».

Le Gérant : C. NAUD.

Tome XXIX. Samedi 19 Octobre 1901. 8e Année. — N° 42.

L'Éclairage Électrique

REVUE HEBDOMADAIRE DES TRANSFORMATIONS

Électriques — Mécaniques — Thermiques

DE

L'ÉNERGIE

TÉLÉGRAPHIE SANS FIL (1)

Les perfectionnements que les inventeurs apportent journellement aux procédés de la télégraphie hertzienne concernent presque uniquement le dispositif récepteur généralement appelé cohéreur. Soit en augmentant la sensibilité de cet appareil aux ondes électriques, soit en facilitant son retour à la résistance première par des moyens divers de décohésion, on cherche à rendre plus rapide et plus sûre la réception des signaux. — Peu de changements sont apportés aux dispositifs de transmission ; les différences que présentent les oscillateurs sont en général insignifiantes ou de peu d'importance.

C'est ainsi que MM. Armstrong et Orling (2) proposent de se servir comme sphères d'excitateur de boules métalliques creuses à l'intérieur desquelles ils enferment, en plus ou moins grand nombre, des petites billes conductrices semblables à celles qui constituent le cohéreur. Ils croient que le nombre de ces billes influe sur la période des oscillations émises et espèrent pouvoir accorder plus aisément un oscillateur avec un dispositif récepteur donné, en faisant varier le nombre de ces billes. A cet effet l'oscillateur est constitué par deux sphères creuses b, c (fig. 1 à 4) fixées à l'extrémité de tubes conducteurs creux g, h, munis de robinets r, s. Ces tubes sont supportés à l'extrémité de tiges i, j qui permettent d'abaisser ou d'élever les deux sphères et de les faire plonger dans une cuve d'huile e ou de les en retirer ; on peut également rapprocher les sphères l'une de l'autre par la manœuvre des tiges i, j, au moyen des manches isolants k, l, qui permettent de faire glisser ces tiges au sommet des colonnes isolantes m, n. Les tiges i, j sont reliées par les fils o, p aux

(1) Voir *L'Éclairage Électrique* du 21 septembre, t. XXVIII, p. 425.

(2) Brevet anglais n° 19 640 du 30 juillet 1900.

bornes de l'induit d'une bobine d'induction a. L'une des sphères c est reliée à l'antenne 9, l'autre sphère à la terre E. Une cloison isolante d_x empêche les étincelles d'éclater entre les sphères à la surface de l'huile. — La figure 3 montre comment on obtient l'introduction des billes une à une par la manœuvre du robinet r portant une cavité u où peut se loger une des billes q que l'on veut introduire dans la sphère.

Il est évident que la présence d'un certain nombre de billes q à l'intérieur des sphères creuses n'aura d'autre effet, en augmentant la masse de chacune de ces sphères, que de rendre plus élevé et plus rapide l'échauffement que les sphères éprouvent par l'effet des

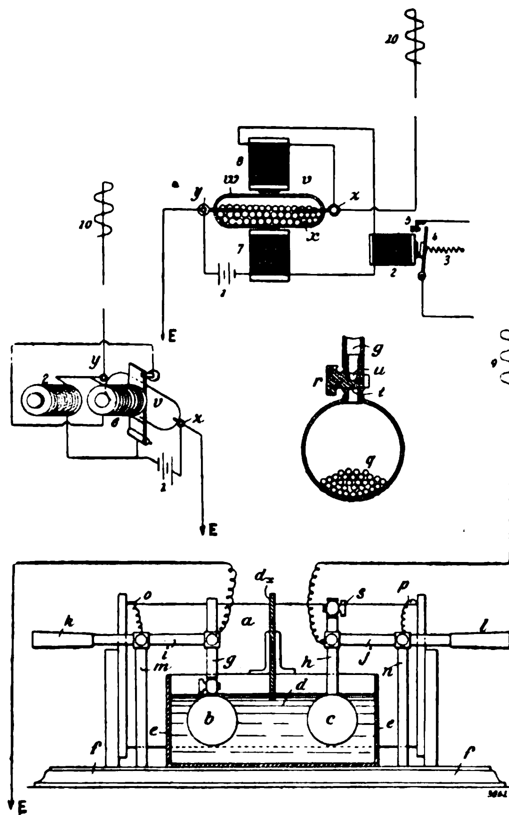


Fig. 1 à 4. — Dispositif Armstrong et Orling.

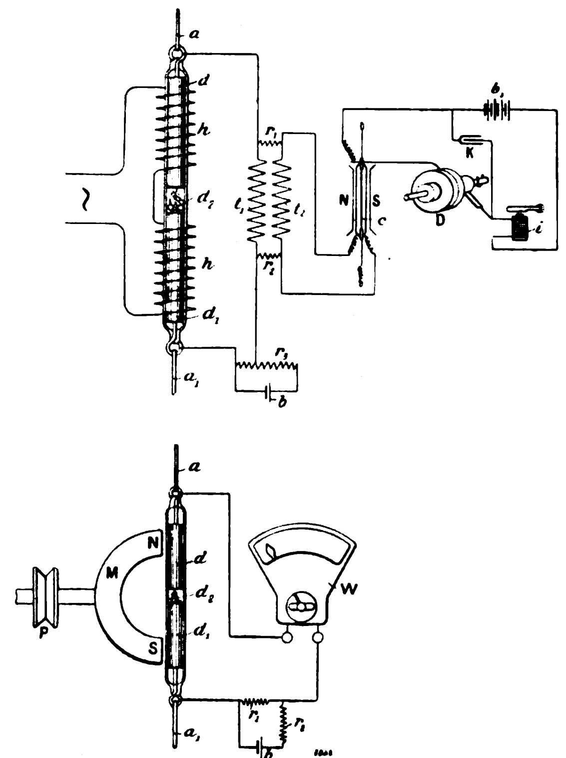


Fig. 5 et 6. — Cohéreur magnétique Brown.

étincelles de décharge qui se produisent entre elles. Quant à influer d'une manière sensible sur la période des oscillations émises, il est, croyons-nous, illusoire de fonder quelque espoir sur ce procédé, et encore plus de chercher à rendre par ce moyen un oscillateur syntone avec un récepteur donné.

Ainsi que le montrent les figures 1 et 2 le dispositif récepteur associé à cet oscillateur se compose d'un cohéreur à billes v placé entre les pôles d'un électro-aimant 7,8 et dont les électrodes y, z sont reliées d'une part à l'antenne 10, d'autre part à la terre E. Le cohéreur est susceptible de fermer également le circuit d'une pile 1 à travers la bobine 2 d'un relais 3, 4, 5 et à travers les bobines 7 et 8 de l'électro-aimant qui agit sur le cohéreur. — Dans le dispositif représenté figure 2 l'électro-aimant 6 agit sur un trembleur qui décohère le tube par choc. — Dans le dispositif de la figure 1 la décohésion est produite par l'attraction magnétique de l'électro-aimant sur les billes x qui doivent alors être constituées par un métal magnétique. Si le courant admis dans l'électro-aimant 7, 8 est (comme

c'est le cas indiqué par la figure) celui-là même que le cohéreur provoque par l'abaissement de sa résistance, il est à craindre que ce courant soit trop peu intense pour déterminer une aimantation suffisant à la décohésion. La valeur de l'intensité des courants qui traversent les cohéreurs cohérés est en effet de quelques milliampéres. Or le fait de constituer les contacts imparfaits du cohéreur par des billes de métal et non par de la limaille doit nécessiter pour la décohésion un champ magnétique d'une certaine intensité. Il nous semble préférable, comme d'ailleurs les inventeurs l'indiquent au cours de leur brevet, d'envoyer dans les bobines 7 et 8 un courant emprunté à une pile auxiliaire commandée par le relais.

M. Brown (1) emploie un cohéreur magnétique et détermine la décohésion du cohéreur soit par le jeu d'une bobine traversée par un courant alternatif, soit par le mouvement d'un aimant permanent. Le dispositif que représente la figure 5 montre le cohéreur dd_1 dont les électrodes d, d_1 sont en fer et qui contient de la limaille de nickel d_2. Les fils a, a_1 servent à recevoir les ondes et à relier le cohéreur à la terre. Un courant alternatif traverse les enroulements hh et produit la décohésion. Aux bornes du cohéreur sont reliées les extrémités du primaire t_1 d'un transformateur. Ce circuit emprunte par dérivation le courant d'une pile b, courant que l'on peut aisément réduire par le jeu de la résistance du rhéostat r_3 ce qui permet de diminuer la différence de potentiel aux bornes du cohéreur. Le secondaire t_2 du transformateur est réuni aux extrémités de la bobine mobile c d'un relais polarisé NSD. Ce relais, lorsqu'il est actionné, ferme le circuit d'une pile b_1 à travers les bobines de l'électro-aimant i d'un appareil Morse. — Un condensateur K est disposé en dérivation sur ce circuit. — Afin de prévenir les effets des courants d'induction du transformateur sur le cohéreur et d'empêcher qu'ils prolongent les signaux reçus, deux résistances r_1 r_2 réunissent les extrémités des enroulements t_1 t_2.

Dans un autre dispositif dont la figure 6 donne le schéma la décohésion est obtenue par la rotation d'un aimant permanent NS fixé à l'extrémité d'un axe auquel on imprime un mouvement de rotation à l'aide d'une poulie P et d'un moteur.

La figure 7 représente un cohéreur à contact unique et à décohésion par courants alternatifs. Le contact imparfait est réalisé par le moyen d'une pointe métallique p qui est amenée au contact d'une petite pastille conductrice d supportée par un diaphragme formé d'une mince lame de fer que peut attirer l'armature M d'un électro-aimant h. Le contact pd est intercalé, ainsi qu'un téléphone t, dans le circuit d'une pile. Les fils aa_1 réunissent ce courant d'une part à l'antenne, d'autre part à la terre. L'enroulement h de l'électro-aimant est parcouru par un courant alternatif qui produit la décohésion du contact p, si bien qu'on entend un son dans le téléphone correspondant à la durée d'émission des ondes que reçoit l'antenne a. Il semble assez étonnant, malgré ce qu'en dit l'inventeur, que ce dispositif ne produise aucun son dans le téléphone si des ondes électriques ne sont pas captées par l'antenne. En effet le courant alternatif qui circule dans l'enroulement h d'une manière constante doit produire dans le circuit ptd des effets d'induction se traduisant par un son dans le télé-

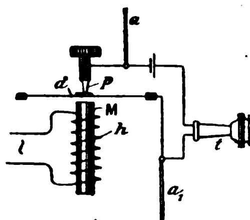
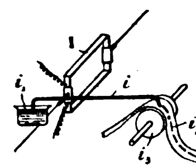


Fig. 7. — Cohéreur à contact unique Brown.


Fig. 8. — Inscripteur Brown.

(1) Brevet anglais n° 19710 du 20 juin 1900.

phone, et cela d'autant mieux que l'aimantation produite en M par ce courant doit être susceptible d'agir sur le diaphragme. — Il est possible que le son ainsi produit dans le téléphone soit différent de celui qu'y font naître les ondes, mais il paraît assez difficile d'en empêcher la production sans rien ajouter au dispositif décrit.

Afin de permettre l'inscription directe des signaux Morse reçus par le cohéreur, M. Brown propose de munir la bobine I (fig. 8) du relais d'un petit siphon de verre i qui puisant de l'encre dans un réservoir i_1 laisse une trace plus ou moins longue sur une bande de papier i_2 entraînée par le tambour i_3.

Les dispositifs précédents n'ont pas sans doute donné à l'inventeur les meilleurs résultats, car il indique encore de placer le cohéreur dd_1d_2 (fig. 9) dans le champ magnétique

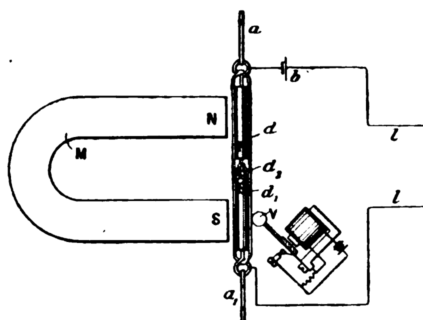


Fig. 9. — Autre cohéreur Brown.

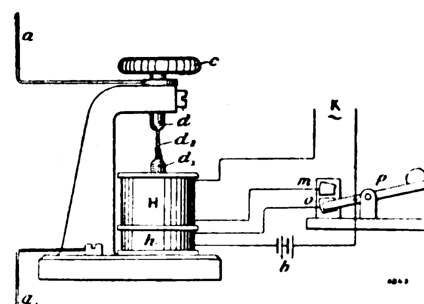


Fig. 10. — Cohéreur magnétique Brown.

d'un aimant permanent et de produire la décohésion au moyen d'un frappeur V. — Ce dernier dispositif doit être rapproché du cohéreur magnétique avec lequel M. Tissot a obtenu de si intéressants résultats et qu'il a employé au cours de son étude si complète des phénomènes de la télégraphie sans fil.

Enfin M. Brown préconise en dernier lieu un dispositif de cohéreur représenté par la figure 10. L'une des électrodes d du cohéreur est mobile et peut être rapprochée de l'autre par le jeu de la vis c. L'autre électrode d_1 est constituée par l'armature d'un électro-aimant à deux enroulements. L'un des enroulements H est traversé par un courant alternatif K, le second enroulement h est traversé par le courant d'une pile b. Cet enroulement n'est utilisé que lorsque le courant alternatif cesse. Alors pour empêcher que la limaille d_2 abandonne complètement les électrodes d, d_1, on déplace la manette p qui, primitivement en m, permettait au courant alternatif de parcourir H, et on la porte sur le contact o. C'est alors le courant de la pile qui, traversant h, entretient dans les pôles du cohéreur un magnétisme suffisant pour que la limaille se dispose en chaîne et soit susceptible d'être cohérée par un train d'ondes. On supprime ainsi le courant alternatif et on utilise la pile b pendant que le cohéreur ne fonctionne pas. On le maintient ainsi en état de déceler l'appel fait par la station correspondante.

Les dispositifs que MM. Maréchal, Michel et Dervin [1] ont fait breveter ont pour but d'accroître la rapidité des échanges de signaux tout en permettant la *synchronisation* [2] complète entre le transmetteur et le récepteur, et, par ce fait, de préserver ces stations de toute action perturbatrice.

---

[1] Brevet anglais, n° 13643 du 30 juillet 1900.

[2] Par ce terme nous supposons que les auteurs ont voulu entendre l'établissement d'une syntonie entre les stations transmettrices et réceptrices.

Sans nul doute les dispositifs que nous allons décrire ne répondent pas complètement au triple but que se proposaient les inventeurs. Toutefois ces dispositifs peuvent évidemment constituer de très sensibles cohéreurs. — L'appareil que la figure 11 représente est un cohéreur à un seul contact et à téléphone. Sur l'anneau isolant qui entoure le diaphragme *b* d'un téléphone *a* est fixé un support *c* qui maintient une vis *d* pouvant venir au contact du diaphragme *b*. — C'est le contact imparfait entre cette vis *d* et le diaphragme qui constitue le cohéreur. Le circuit d'une pile *e* est fermé par le support *c*, la vis *d*, le diaphragme *b*, l'aimant du téléphone *a* et l'enroulement des bobines du téléphone. — Les ondes sont collectées par l'antenne *f* et le circuit est relié à la terre. Bien que le dessin ne soit pas très explicite, on doit considérer le courant comme circulant de *b* à *a* par la suite des corps métalliques en contact parfait reliant le diaphragme à l'aimant.

La figure 12 représente un couple de téléphones dont les diaphragmes *b*, *b'* sont reliés par une suite de billes métalliques en contacts imparfaits entre elles et avec les diaphragmes. — Le circuit de la pile *e* se ferme à travers l'aimant *a* d'un des deux téléphones, le diaphragme *b*, le cohéreur *g*, le diaphrage *b'*, l'aimant *a'* du second téléphone et les enroulements téléphoniques disposés en série.

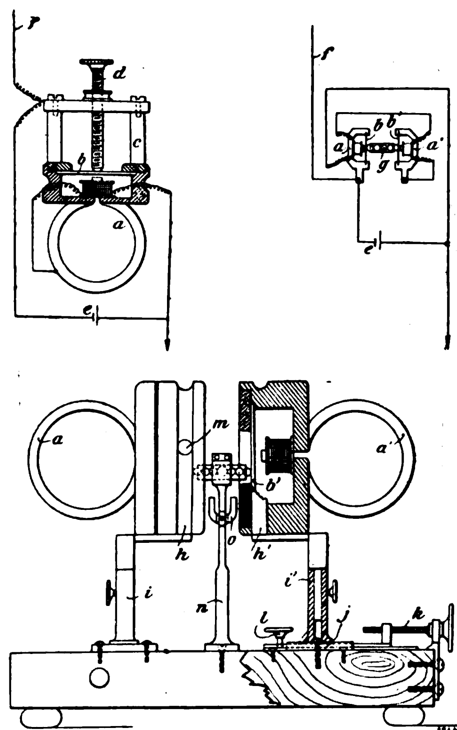


Fig. 11 à 13. — Cohéreurs Maréchal, Michel et Dervin.

La figure 13 indique par quels dispositifs on obtient un réglage commode des divers organes représentés schématiquement dans la figure 12. Les deux téléphones sont fixés à l'extrémité de tiges mobiles dans des colonnes *i*, *i'*. Par la manœuvre de la vis micrométrique *k*, l'un des téléphones peut être approché ou éloigné de l'autre. On peut ainsi faire varier la pression des diaphragmes *b*, *b'* sur les billes du cohéreur, et en même temps la pression de ces billes entre elles. Un petit aimant *o* fixé a la colonne *n* qui supporte le cohéreur augmente la sensibilité du cohéreur par l'action magnétique qu'il exerce sur les billes de ce cohéreur, constituées par un métal magnétique (fer ou nickel). — Les téléphones *a*, *a'* peuvent tourner autour de l'axe de la bobine téléphonique ; à cet effet ils sont supportés par les colonnes *i*, *i'*, par l'intermédiaire de bagues *hh'* à l'intérieur desquelles ils sont mobiles par frottement. On peut ainsi faire varier la région des diaphragmes *bb'* sur laquelle appuient les billes du cohéreur et choisir celle qui répond à la plus grande sensibilité du dispositif.

Dans la figure 14 est représenté un dispositif de cohéreur n'entretenant pas un téléphone et dans lequel le courant, établi par l'action des ondes sur le cohéreur, induit dans un circuit voisin un courant actionnant un récepteur *w* qui peut être un téléphone. — Le cohéreur est formé par une suite de billes conductrices en contact *s*, *s'* pressées entre deux ressorts *u*, *u'* dont on peut graduer la tension. Entre les deux billes médianes est intercalée une tige métallique *r* solidaire de l'équipage mobile d'un relais polarisé *p*, *q*, *p'*. Le circuit d'une pile *e* est fermé à travers le relais et le primaire d'un transformateur *v*. Le secondaire de *v* est en relation avec le cadre mobile *q* du relais et avec le récepteur *w*. Les ondes

sont conduites au circuit contenant le cohéreur par le fil *f*. Lorsque le cohéreur est cohéré, le courant qui s'établit dans le primaire de *v* induit un courant dans le secondaire ; ce courant parcourt le cadre mobile du relais ; il s'ensuit une certaine rotation de ce cadre qui entraîne dans son mouvement la tige *r*. La rotation de cette tige *r* suffit à décohérer le cohéreur. En même temps le courant induit actionne le récepteur *w*.

Le cohéreur dessiné dans la figure 15 utilise, pour produire la décohésion, l'échauffement d'un long et mince fil de platine 2, tendu sur deux poulies 3 et 4 et qui est fixé à l'extrémité d'un levier *y*. Ce levier, mobile autour de l'axe *z*, presse les billes du cohéreur contre l'arrêt *x*. Quand, sous l'action des ondes conduites par le fil *f*, le cohéreur est cohéré, le courant de la pile *e* échauffe et par suite allonge le fil 2. La traction de ce fil sur le levier *y* diminuant, la pression de ce levier sur les billes du cohéreur varie et le cohéreur est décohéré. — Le courant de la pile *e* agit sur le récepteur *w* par l'intermédiaire d'une bobine d'induction *v*. Le primaire de cette bobine est traversé par le courant de la pile *e* ; le courant induit dans le secondaire actionne le récepteur *w*. — Ce dispositif ne doit pas donner d'excellents résultats ; non seulement, en effet, il faut employer de très longs et très minces fils de platine pour que le faible courant qu'admet un cohéreur soit suffisant pour produire un allongement notable de ce fil, mais encore d'après la manière dont le fil agit sur le levier *y*, il semble que l'allongement de ce fil doit déterminer une augmentation de pression des billes du cohéreur. N'y aurait-il pas avantage de faire en sorte que l'allongement du fil détermine une diminution de pression. — D'ailleurs un semblable fil doit être presque aussi sensible aux variations de la température ambiante qu'à celles que lui communique le courant de la pile *e*, par suite le réglage de ce dispositif doit être bien précaire. Enfin, la rapidité des échauffements et refroidissements successifs du fil ne doit pas être suffisante pour permettre au cohéreur de pouvoir enregistrer des signaux émis à des intervalles de temps très rapprochés.

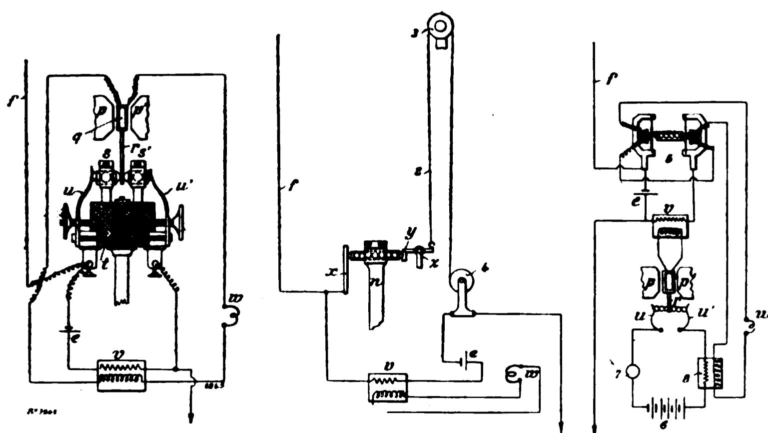


Fig. 14 à 16. — Cohéreurs Maréchal, Michel et Dervin.

Pour ces diverses raisons et en particulier pour la dernière, ce dispositif de cohéreur ne nous paraît posséder aucune qualité pratique.

Le dispositif de la figure 16 est une combinaison des dispositifs des figures 12 et 14. Il a pour but de permettre à des ondes qui ne seraient pas suffisamment actives pour actionner un cohéreur *uu'* d'être décelées par ce cohéreur. Les ondes sont à cet effet reçues dans un circuit contenant un cohéreur plus sensible (circuit 5, analogue à celui de la figure 12). Ce circuit comprend le primaire d'un transformateur *v* et c'est le courant induit dans le secondaire de ce transformateur qui traverse le cadre mobile d'un relais *p p'*. La rotation de ce cadre entraîne celle de la tige *r* qui produit la décohésion du cohéreur *u u'* dans lequel circule le courant de la pile 6, courant réglable par le rhéostat 7.

La cessation de ce courant qui parcourt le primaire d'un second transformateur 8,

détermine dans le secondaire de ce transformateur un courant induit. Ce deuxième courant induit est utilisé pour actionner un récepteur w et aussi pour produire la décohésion du premier cohéreur 5. Il circule en effet à travers les enroulements des deux téléphones entre les diaphragmes desquels sont disposées les billes de ce cohéreur ; l'attraction de ces diaphragmes produit la décohésion. Ce cohéreur 5 peut être constitué par des billes en charbon ; il est alors à basse tension critique de cohésion et ne peut admettre qu'un très faible courant, courant qui serait incapable de produire l'attraction des diaphragmes et par suite la décohésion. C'est pourquoi cette décohésion est obtenue par le fonctionnement du second cohéreur. — En définitive, l'action des ondes sur ce premier cohéreur produit, par l'intermédiaire du relais $p\ p'$, une action sur le second cohéreur. Ce dispositif employant deux cohéreurs et deux transformateurs nous semble compliqué un peu à plaisir.

Puisque le cohéreur 5 actionne un relais et y détermine la rotation d'un cadre, ne serait-il pas plus simple, comme cela est pratiqué par tous les expérimentateurs qui utilisent des cohéreurs à basse tension critique, d'utiliser ce relais à détermicer une action mécanique susceptible de décohérer le cohéreur 5 sans pour cela faire appel à un second cohéreur et à deux transformateurs ?

Les figures 17 et 18 représentent les schémas de deux postes, l'un de transmission (fig. 17), l'autre de réception (fig. 18). Le poste transmetteur comprend un oscillateur entretenu par une bobine d'induction. L'une des boules de l'oscillateur est reliée à la terre ; l'autre boule est reliée à l'antenne f par l'intermédiaire d'un vibrateur 9 qui forme interrupteur et dont les vibrations sont synchrones de celles des diaphragmes du téléphone entre lesquels est contenu le cohéreur 5 de la station réceptrice (fig. 18). Les auteurs espèrent obtenir une meilleure adaptation des dispositifs transmetteurs et récepteurs entre eux. — Ils ne donnent aucun renseignement sur la manière dont est disposé le vibrateur de la figure 17, si bien qu'il est impossible de se rendre compte de la façon dont on obtient l'interruption entre l'oscillateur et l'antenne. Comme l'oscillateur fonctionne d'une manière continue pendant toute la durée de l'émission d'un signal, il est à craindre que les ondes soient émises par l'antenne, même lorsque le vibrateur 9 est dans la phase d'interruption, car un petit intervalle entre deux corps conducteurs est insuffisant à empêcher les ondes de passer de l'un des conducteurs sur l'autre, comme s'ils étaient réunis.

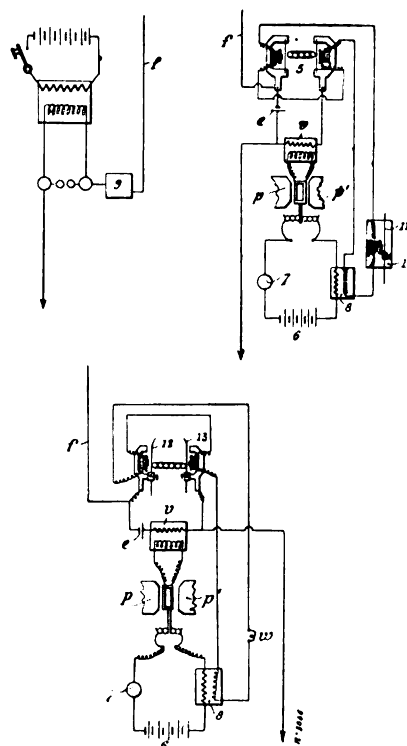


Fig. 17 à 19. — Schémas des connexions de deux postes Maréchal, Michel et Dervin.

La figure 19 est une variante du dispositif de réception représenté par la figure 18, dans laquelle les tiges vibrantes 12 et 13, entre lesquelles est placé le cohéreur, sont susceptibles d'être fixées plus ou moins haut, de manière à faire varier la période de leurs vibrations.

La « Wireless Telegraph and Signal Company Ld », qui exploite les brevets de M. Marconi n'est pas la seule société constituée pour la mise en pratique et l'exploitation des pro-

***

cédés de la télégraphie sans fil. Aux États-Unis, une compagnie américaine, l' « American Wireless Telegraph Company » a fait breveter [1] des dispositifs qu'elle se propose d'exploiter. L'ensemble des appareils qui constituent un poste est représenté dans la figure 20. L'antenne est reliée au levier I ; J est un commutateur, A la bobine d'induction qui entretient l'excitateur E, E ; C le manipulateur, F le cohéreur, H le relais. Le cylindre L contient de l'air comprimé qui, par un tuyautage et un système de valves convenablement disposées, assure la manœuvre convenable du commutateur, la décohésion du cohéreur et le fonctionnement du relais.

L'originalité du dispositif que nous allons décrire consiste justement à entretenir ces

Fig. 20. — Poste de la Wireless Telegraph and Signal Company.

divers appareils par l'air comprimé. Cette manière d'opérer complique d'une façon notable les dispositifs, mais on gagne beaucoup, paraît-il, en régularité et en sécurité.

Lorsque le manipulateur C (fig. 20) est abaissé, le circuit de la pile B se trouve fermé dans le primaire de la bobine d'induction par l'intermédiaire de l'interrupteur à marteau D. L'excitateur E, E est alors mis en activité. L'une des sphères de cet excitateur est en relation avec la terre en *e*, l'autre sphère est reliée à la sphère j_2 du dispositif commutateur J. — A l'extrémité du levier C est relié un levier *c* qui actionne une valve M, si bien que chaque fois que le manipulateur est abaissé, l'air comprimé vient agir par l'intermédiaire du tube *l* et contrebalance l'action du ressort k' ; le piston *k* est alors soulevé et le levier *j* porte la lentille métallique j_1 contre la sphère j_2. L'antenne I cesse ainsi d'être réliée à la sphère j_3 (ce qui correspond à la disposition de réception), et est mise en communication avec la sphère j_2, reliée à l'excitateur. — Cette manœuvre est-elle suffisante pour empêcher les ondes émises par E d'agir, par l'intermédiaire du fil lié à la boule j_3, sur le cohéreur du dispositif F ? Évidemment non, car si ces ondes sont susceptibles d'actionner le cohéreur

[1] Brevet anglais n° 22026 du 4 décembre 1900.

du poste correspondant situé à distance, à plus forte raison pourront-elles, à travers le faible intervalle qui sépare les boules j_2 et j_3, être concentrées par le fil 1 et actionner le dispositif cohéreur F. S'il est utile lorsqu'on veut opérer une émission d'ondes de mettre en contact l'antenne et l'une des sphères de l'excitateur (but qui est atteint par le commutateur J), la commutation obtenue comme il vient d'être décrit est impuissante à empêcher les ondes d'agir sur le cohéreur de F.

Quand le commutateur J est dans la position de réception (position représentée par la

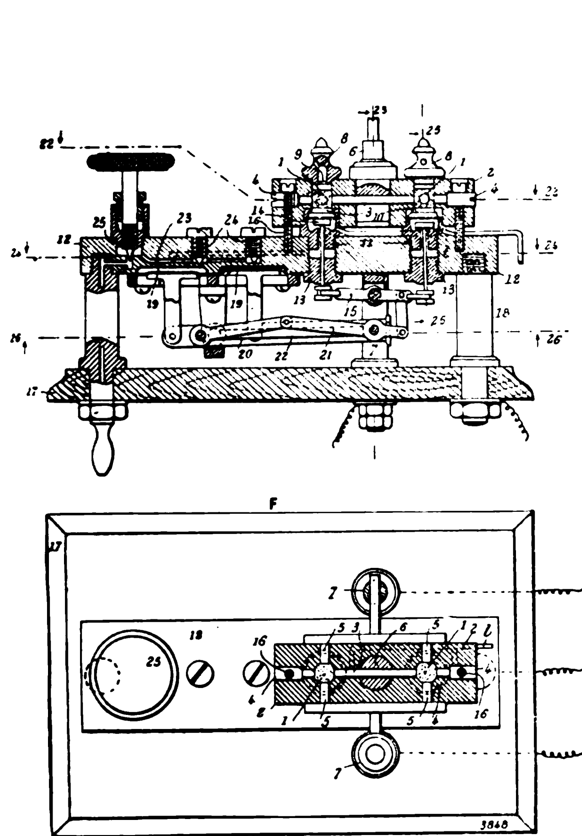


Fig. 21 et 22. — Détails du cohéreur de la Wireless Telegraph and Signal Company.

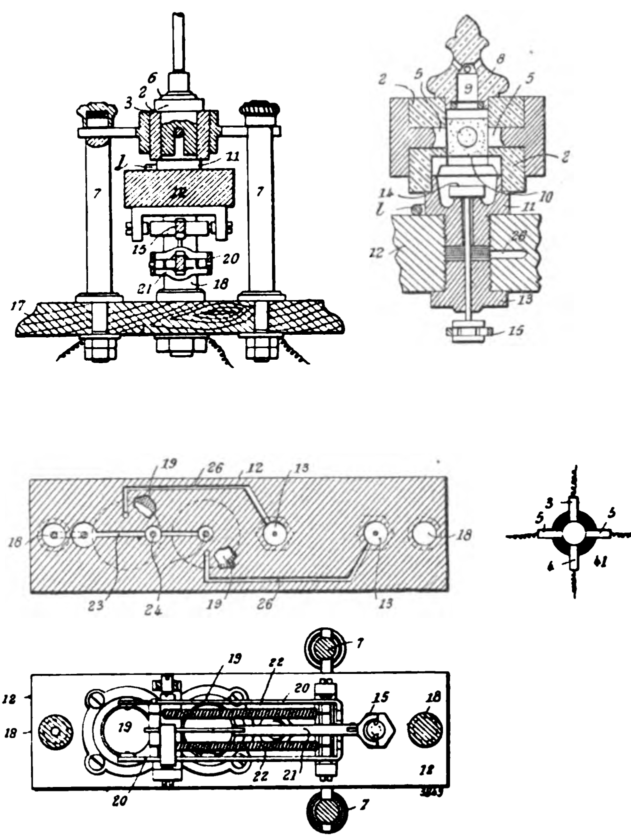


Fig. 23 à 27. — Détails du cohéreur de la Wireless Telegraph and Signal Company.

figure), les ondes collectées par l'antenne I sont amenées par le fil 1 jusqu'au cohéreur F. Ce cohéreur F est représenté en détail par les figures 21, 22, 23, 24, 25, 26 et 27. — La figure 21 est une coupe verticale du dispositif ; la figure 22, une projection horizontale ; les figures 23 et 25 représentent des coupes verticales transversales faites suivant les lignes pointillées 23-23 et 25-25 de la figure 21 ; les figures 24 et 26 sont des coupes horizontales faites au niveau des lignes pointillées 24-24 et 26-26 de la figure 21.

La partie essentielle du cohéreur comprend deux cavités 1, 1 pratiquées dans un bloc isolant 2 (fig. 22) et remplies de limaille. Cette limaille se trouve comprise entre 4 électrodes 3, 4, 5, 5 (fig. 27). Les électrodes 3 de chacun des cohéreurs associés sont constitués (fig. 22), par le même morceau de métal. Les électrodes 5 sont reliées entre elles par groupes de deux par une tige métallique à laquelle vient aboutir l'un des fils qui relie le cohéreur

au relais. — Les électrodes 4 sont reliées entre elles et à la terre. L'électrode 3 est réuni au fil 1 (fig. 20) qui aboutit au commutateur J.

Lorsque sous l'action des ondes arrivant par l'électrode 3 et gagnant la terre par les électrodes 4, 4, le cohéreur est cohéré, le courant d'une pile G (fig. 20) traverse les bobines O du relais H, et, par un mécanisme que nous décrirons plus loin, il se produit un envoi d'air comprimé par le tube l'. — Cet air suit le canal pratiqué suivant l'axe de la colonne 18 (fig. 21) et vient remplir deux sortes de capsules manométriques 19, 19 dont les diaphragmes sont solidaires d'un système de levier, 20, 21, 22, qui, par l'intermédiaire du bras 15, élève alternativement deux petits pistons mobiles suivant l'axe des pièces 13, 13. — Ces pistons 14 viennent frapper des diaphragmes qui forment le fond des cavités 1, 1, et la limaille se trouve ainsi par ce choc décohérée. La figure 26 donne le détail de la manière dont sont disposés les leviers 20, 21, 22. L'air comprimé dans les capsules manométriques 17, 19 se détend par un système de conduits 26, 26 percés dans la pièce 12 et représentés en détail dans la figure 26, en passant au-dessus des pistons 14, 14 qu'il ramène à leurs positions de repos avant d'être amené au dehors par le tube l (fig. 20) et la valve N.

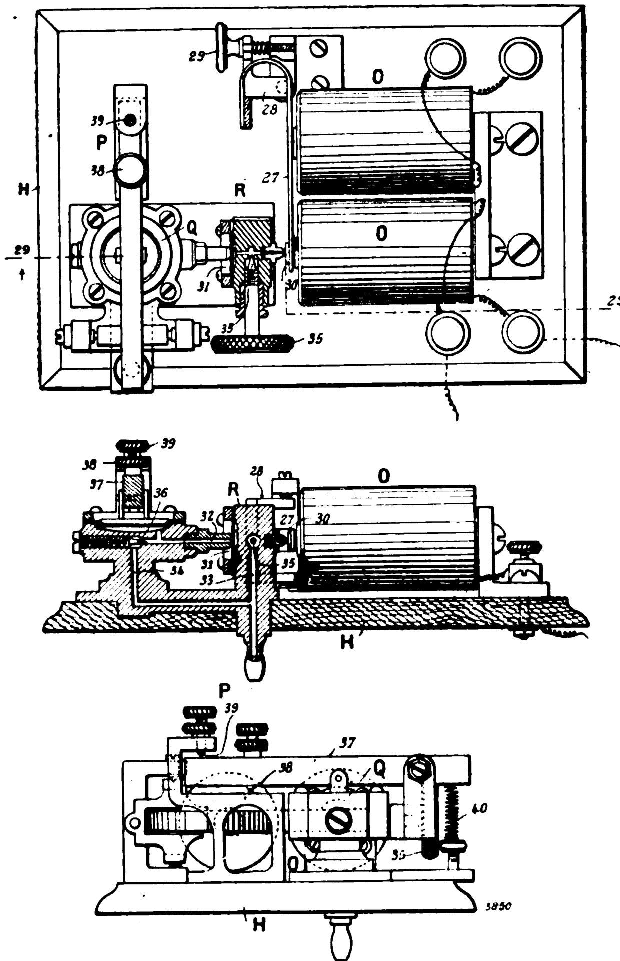


Fig. 28 à 30. — Relais de la Wireless Telegraph and Signal Company.

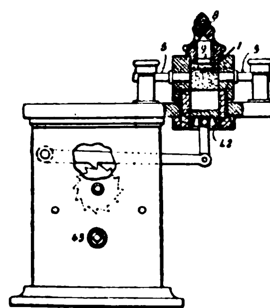
Comme cela est indiqué dans la figure 20, le courant de la pile G traverse l'électro-aimant O du relais H de la manière suivante : Chaque pôle de la pile est relié à l'une des extrémités de chacun des enroulements O de l'électro-aimant. Les extrémités libres de ces enroulements sont reliées par les fils 2, 2′ avec les bornes 7, 7 du cohéreur F. Chacune de ces bornes est reliée à un couple d'électrodes 5 du cohéreur. De cette manière dès que l'une ou l'autre des limailles contenues dans les cavités 1, 1 devient conductrice sous l'action des ondes, le courant de la pile G circule à travers les bobines de O.

Les figures, 28, 29 et 30 représentent en détail le dispositif adopté comme relais. — La figure 29 est une coupe verticale faite suivant la ligne pointillée 29-29 de la figure 28. — La figure 30 est une vue en détail du parleur adapté au relais et mû par l'air comprimé.

En face des pôles de l'électro-aimant est disposée une palette de fer 27 (fig. 28) dont une extrémité recourbée en U est fixée à une pièce de métal mobile autour d'un axe et dont on peut régler la distance à l'aide de la vis 29. L'extrémité libre de cette palette porte sur la face opposée à celle qui regarde l'électro-aimant, un petit disque de caoutchouc 30 qui s'appuie

sur l'orifice du conduit de détente d'une valve R. La paroi mobile 31 de cette valve joue le même rôle à l'égard du tube de détente 32 (fig. 29) d'un petit moteur à air comprimé Q. — Ainsi qu'on le voit dans la figure 29, un ajutage relié au réservoir à air comprimé L (fig. 20) conduit l'air comprimé par deux tubes 33 et 34 à la valve R et au moteur Q. — Ce moteur peut agir sur le levier 37 d'un parleur P (fig. 30), levier dont la course est limitée par les deux butoirs réglables 38 et 39 et qu'un ressort antagoniste 40 maintient dans la position de repos.

Lorsque les ondes électriques reçues par le cohéreur en abaissent la résistance, l'électro-aimant O attire la palette 37, le disque 30 (fig. 28 et 29), l'extrémité du tube de dégagement de la valve R qu'il obturait et l'air comprimé dans la cavité de R se détend. Il s'ensuit que le diaphragme 31 cesse d'obturer le tube de dégagement 32 du moteur Q. A chaque allée et venue de la palette 27, le moteur Q produit donc un mouvement correspondant du levier 37 (fig. 30) du parleur P qui se trouve ainsi mû par l'air comprimé. En même temps l'échappement qui se produit au moteur Q détermine une diminution de pression de l'air dans les valves 19 (fig. 21) et le système de leviers 20, 21, 22 se trouvant actionné, le cohéreur se trouve décohéré comme cela a été précédemment décrit.



A l'entrée et à la sortie de chaque cavité dans lesquelles l'air comprimé doit produire le mouvement d'un diaphragme, se trouvent des pointeaux à vis qu'on enfonce plus ou moins et qui permettent de régler convenablement l'admission et l'échappement de l'air dans ces cavités.

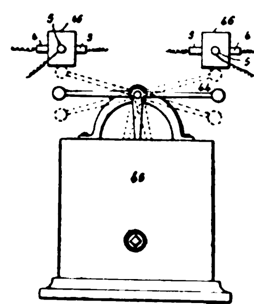


Fig. 31 et 32. — Décohéreur de la Wireless Telegraph and Signal Company.

Le réservoir à air comprimé L est relié aux tubes de distribution *l* et *l'* (fig. 20) par l'intermédiaire d'un flacon S rempli de chlorure de calcium destiné à dessécher l'air de manière à empêcher la détérioration que ce gaz humide ne manquerait pas de produire sur les organes assez délicats de ces dispositifs.

Comme le montrent les dessins joints à cette description, les dispositifs de décohésion et de fonctionnement du relais sont assez compliqués et nécessitent des appareils coûteux et délicats. Bien qu'il puisse y avoir avantage au point de vue de la sécurité et de la régularité à employer l'air comprimé, ces avantages ne doivent pas être tels qu'ils compensent la grande complexité de construction des appareils. Les dispositifs de décohésion par choc, avec ou sans emploi de limaille magnétique, et ceux employant des relais polarisés du genre Claude sont de beaucoup plus simples et ne paraissent pas bien inférieurs en régularité aux dispositifs précédents, quoiqu'en disent les auteurs de ces appareils.

D'ailleurs ces dispositifs de décohésion ne paraissent pas avoir donné pleine satisfaction à leurs auteurs, car le brevet qui les décrit se termine par la description de deux autres moyens de décohésion un peu plus simple. L'un de ces moyens est réalisé dans l'appareil représenté par la figure 31. Un mouvement d'horlogerie 43 communique à un rochet un mouvement de rotation qui sert à imprimer à un piston 42 des mouvements d'allée et venue. Ces allées et venues produisent des alternatives de compression et de dépression de l'air contenu dans la cavité 10. Il s'ensuit que le diaphragme sur lequel repose la limaille 1 reçoit des impulsions qui décohèrent la limaille.

La figure 32 représente un dispositif dans lequel un mouvement d'horlogerie entretient

en vibration une tige de trembleur 44, munie à ses deux extrémités de boules qui viennent alternativement choquer les cohéreurs 46.

M. Ferrié [1] propose d'utiliser la propriété que le cohéreur possède et qu'il a découverte d'être sensible aux courants vibrés qu'émet une bobine d'induction, et d'employer ces appareils dans la télégraphie ordinaire avec conducteur. Le dispositif indiqué à cet effet est des plus simples ; nous attirerons en particulier l'attention sur le manipulateur qui produit très ingénieusement la rupture simultanée du circuit primaire et du circuit secondaire de la bobine d'induction utilisée, ainsi que sur l'emploi d'un condensateur intercalé sur le fil de terre et destiné à atténuer les effets des courants vibrés sur le cohéreur du poste qui transmet.

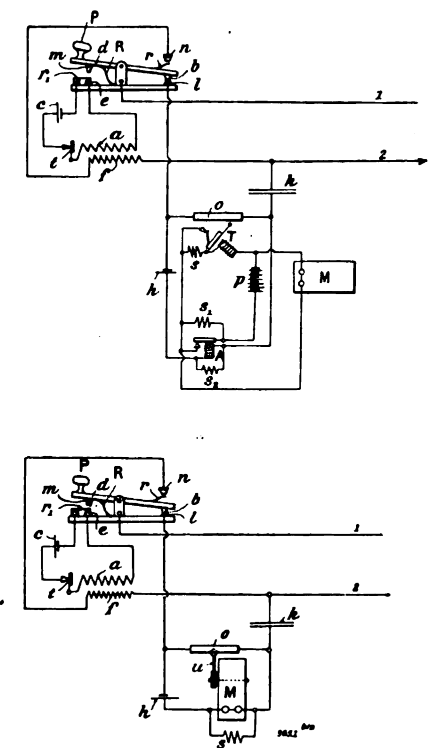


Fig. 33 et 34. — Dispositif Ferrié.

La figure 33 donne les détails du dispositif. *a* est le primaire de la bobine d'induction, *f*, le secondaire, *t*, l'interrupteur à trembleur. Le courant de la pile *c* parcourt l'enroulement primaire lorsque le ressort r_1 vient au contact du bouton *e*. Cet effet est obtenu par l'abaissement du levier *d* du manipulateur P ; *m* est une protubérance en matière isolante que ce levier porte et qui est destinée à produire le contact de *r* avec *e* sans qu'il y ait communication entre ces pièces et le levier *d*. Lorsque le levier *d* est ainsi abaissé, les boutons métalliques *b* et *l* cessent d'être en contact, interrompant ainsi la communication de la ligne 1 avec le cohéreur *o* ; en même temps le ressort *r* vient au contact de *n*, ce qui établit la communication entre la ligne et l'une des extrémités de l'enroulement secondaire, dont l'autre extrémité est reliée à la terre par le fil 2.

Lorsque le manipulateur est au repos, *b* et *l* reviennent au contact sous l'influence du ressort antagoniste R. Si des courants induits sont alors produits par la bobine d'induction d'un même dispositif placé à la station correspondante réunie par le fil 1, ces courants arrivent au cohéreur *o* et le rendent conducteur. Le courant de la pile *h* actionne alors le relais A. Ce relais commande l'entretien par la pile *p* du trembleur servant à la décohésion T et du récepteur Morse M. s, s_1, s_2, sont des shunts disposés à la manière habituelle. Le cohéreur est relié au fil de terre 2 par l'intermédiaire du condensateur *k*, ce qui diminue notablement la sensibilité de ce cohéreur aux courants d'induction émis par *f*.

La figure 34 représente une modification simplifiée en ce qui concerne les organes de réception du dispositif précédent. La pile *h*, dont le courant s'établit à travers le cohéreur, entretient directement le manipulateur Morse qui doit alors être susceptible de fonctionner avec des courants de faible intensité ; le cohéreur doit alors pouvoir admettre un courant notable, c'est-à-dire être à tension critique de cohésion élevée. La décohésion est produite par le choc et le trembleur *u* qui la produit est entretenu mécaniquement par le mouvement d'horlogerie du récepteur Morse M.

[1] Brevet anglais n° 14281 du 29 janvier 1900.

Les dispositifs de télégraphie sans fil que M. CERVERA BAVIERA [1] a fait breveter ne semblent pas apporter de perfectionnements bien notables aux appareils employés jusqu'à présent. Les cohéreurs utilisés ne doivent pas être beaucoup plus sensibles que ceux employés par M. Tissot, par M. Marconi, et par la plupart des expérimentateurs. Quant à l'appareil préconisé comme manipulateur, il est coûteux, encombrant, peu rapide, et compliqué comme à plaisir. — On en jugera aisément en jetant les yeux sur les figures 35 et 36 qui en représentent certains détails. — La figure 35 est un schéma représentant ce manipulateur : Un tableau métallique porte en relief sur une suite de lignes horizontales, les groupes de points et de traits correspondant à une lettre ou un signe de l'alphabet. Ainsi la première ligne porte en relief un point m et un trait m_1, la seconde ligne, un trait n, et trois points n_1, n_2, n_3, etc.

Ceci fait, on coule dans les interstices h du tableau une matière isolante, de manière à rétablir la planéité du tableau. Le tableau est relié par un fil conducteur à l'un des pôles p d'une pile dont l'autre pôle communique avec l'extrémité de l'enroulement d'un électro-aimant E dont la seconde extrémité est reliée à une tige métallique BB_1. — Avec cette tige supposée tenue à la main par l'opérateur, au moyen d'un manche isolant, on trace un trait horizontal sur le tableau, à la hauteur où se trouve la suite de signaux Morses correspondant à la lettre qu'on veut émettre. — Si ce tracé est effectué d'un mouvement uniforme, l'électro-aimant E communique, à la palette qu'il attire, une suite de mouvements qui sont ceux-là même que l'opérateur devrait donner à cette palette s'il voulait, en s'en servant comme d'une clef Morse, émettre la lettre qu'on désire transmettre. Pour produire ce mouvement uniforme de la tige BB_1, l'inventeur dispose l'encombrant appareil dont la figure 36 représente une section. Le tableau AA est maintenu dans une position verticale, et les lignes suivant lesquelles sont tracés les signaux Morses sont verticales. Devant chaque groupe de signaux se trouve une tige F portant un appendice conducteur F_1.

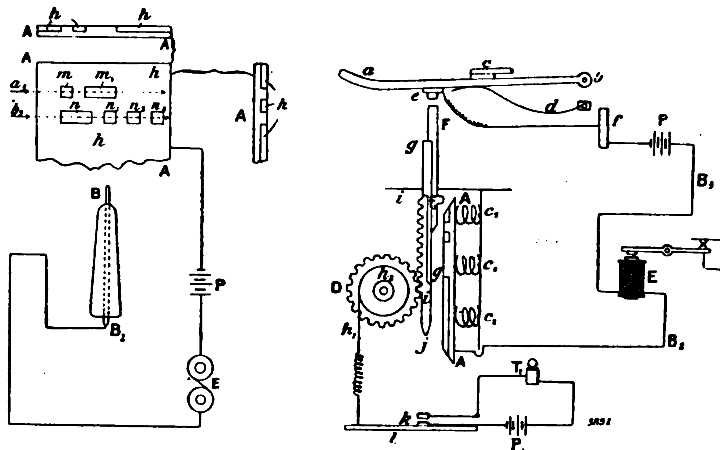


Fig. 35 et 36. — Manipulateur Cervera Baviera.

Cet appendice peut venir frotter sur le tableau A lorsqu'on appuie d'une manière continue sur le levier a. Ce levier est maintenu par un ressort antagoniste d et porte une plaque c sur laquelle se trouve marquée la lettre ou le signe correspondant au mouvement de F_1 sur le tableau. Le contact de F_1 avec le tableau est d'ailleurs amené par la pression des ressorts c_1, c_1, c_1. La communication avec la pile P est assurée aux moments voulus durant la descente de la tige F par le contact entre e, qui communique avec l'un des pôles de la pile et F. L'autre extrémité de la pile est reliée par le fil B_3 à l'électro-aimant E qui communique par le fil B_2 avec le tableau A. La tige F entraîne avec elle une tige à crémaillère engrenant avec une roue à dents D. Le mouvement de cette roue tend un ressort antagoniste h_1. Lorsque la tige F est au bout de sa course, l'extrémité j de la tige à crémaillère ferme en k le circuit

[1] Brevet anglais n° 20084 du 21 juillet 1900.

local d'une pile P_1 qui entretient une sonnerie T_1. L'opérateur est alors averti que l'émission du signal est terminée et qu'il peut abandonner le levier *a*. Ce levier, sollicité par le ressort antagoniste *d* revient alors à sa position de repos, la communication entre *e* et F cesse et le courant de la pile P ne peut plus aller traverser l'électro-aimant E, alors même que l'appendice F_1 serait en contact avec le tableau A. Sous l'influence du ressort h_2, la roue dentée relève la tige F, tandis que l'opérateur appuyant sur un autre levier *a* envoie une seconde lettre. Ainsi donc, au lieu du manipulateur si simple et si commode que constitue la clef de Morse, l'inventeur a besoin d'une *cinquantaine* de leviers *a*, une cinquantaine de tiges F, de disques *d*, de ressorts h_2, pour, à l'aide de cette encombrante machine, transmettre les 25 lettres de l'alphabet, les 10 chiffres et une quinzaine de signes de ponctuation et autres. On ne voit pas d'ailleurs quel intérêt peut bien présenter l'emploi de ce dispositif compliqué. Il faut avoir bien soin d'abaisser les leviers *a* d'un mouvement bien uniforme pour maintenir entre les émissions successives des points et des traits, la proportion que le moins habile des télégraphistes acquiert par une pratique de très peu de temps. Il faut ajouter que les erreurs de transmission ne pourront qu'être accrues par suite de la confusion possible du levier à actionner avec un levier voisin. Aussi cet appareil manipulateur que M. Cervera Baviera s'est ingénié à compliquer nous semble absolument inutile. La figure 37 indique la place M_1 de ce manipulateur par rapport à la bobine d'induction qui doit émettre les ondes.

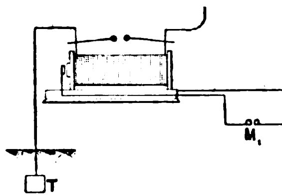


Fig. 37.

Le cohéreur employé par M. Baviera est représenté en détails et sous les diverses formes

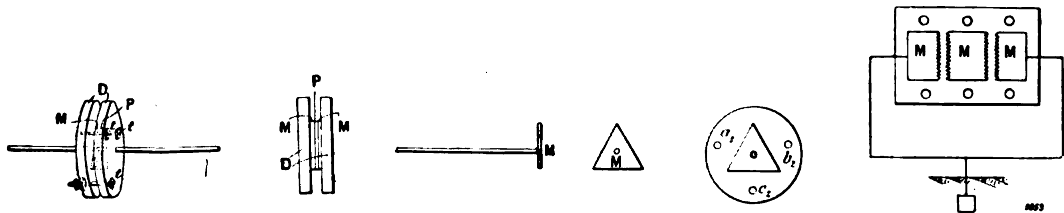


Fig. 38 à 43. — Cohéreur Cervera Baviera.

que lui a données l'inventeur par les figures 38 à 48. — La figure 38 en est une vue de profil, la figure 39 une section. M, M sont deux pièces métalliques formées d'une plaque triangulaire au centre de laquelle est fixée perpendiculairement à son plan une tige ou fil de métal. Les figures 40 et 41 sont des vues en section de cette pièce. Les tiges dont sont armées ces pièces traversent un trou pratiqué au centre d'un disque circulaire D, d'ivoire, d'ébonite ou d'autre matière isolante. Les deux disques D sont percés de trois trous servant à introduire des boulons *t* qui permettent de rapprocher les deux disques l'un de l'autre en maintenant pressée entre les plaques métalliques M la plaque sensible P qui est la partie essentielle du cohéreur et qui sera décrite plus loin. La figure 42 montre une vue de face du disque isolant D et la manière dont est disposée par rapport aux trous $a_1 b_2 c_2$ la plaque conductrice triangulaire M. Les figures 43, 44, 45 représentent diverses formes que l'on peut donner aux plaques M, qu'on peut former de trois portions, soit rectangulaires comme dans la figure 43, soit triangulaires comme dans la figure 44, ou de deux portions circulaires comme dans la figure 45. Dans ce cas, les bords en regard des diverses

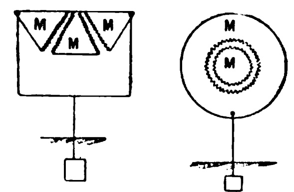


Fig. 44 et 45.

portions de chaque plaque M sont garnies d'aspérités en forme de pointes ou de dents.

La plaque sensible consiste en un mélange de gélatine, de très fine limaille métallique et de poudre de charbon. Ces plaques sont hétérogènes ; la proportion de poudre conductrice diminue du centre à la périphérie. Le métal auquel on emprunte la limaille peut être quelconque, mais l'inventeur trouve avantageux de choisir le cuivre ou l'acier dur. A la gélatine, on peut également substituer l'alcool, la glycérine ou l'huile. Pour prévenir la dessiccation des plaques sensibles ou la séparation de la portion liquide, on les entoure d'ébonite ou de gutta-percha. Un moyen simple et commode de maintenir la plaque sensible consiste à placer la mixture qui la constitue dans des orifices de diverses formes faits à l'emporte-pièce au centre de plaques de caoutchouc affectant elles-mêmes les formes variées que représentent les figures 46 et 47. — Les plaques de caoutchouc ainsi préparées sont serrées entre les plaques conductrices M par le moyen des disques isolants D, comme le montre la figure 48.

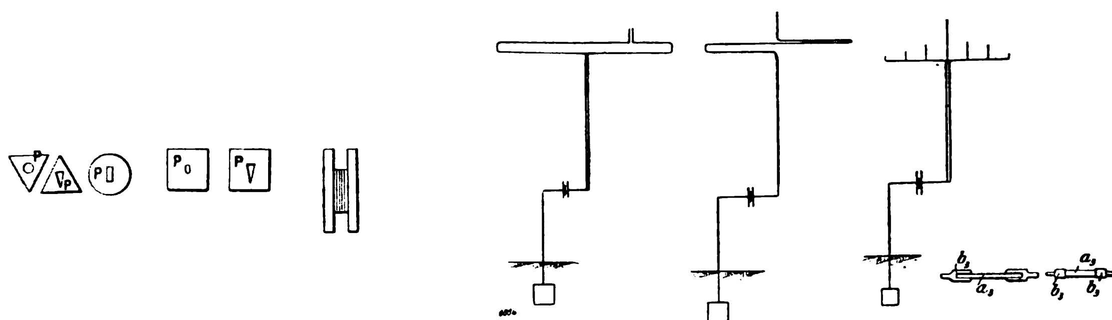


Fig. 44 à 48. — Détails du cohéreur Cervera Baviera.

Fig. 49 à 52. — Antennes Cervera Baviera.

Les figures 49, 50 et 51 représentent diverses formes d'antennes, les unes constituées par deux conducteurs voisins qui s'éloignent l'un de l'autre vers l'extrémité et forment un rectangle aplati comme dans la figure 49, les autres formées par un seul conducteur plusieurs fois replié à angle droit vers l'extrémité, comme le montre la figure 50 ; d'autres encore constituées par un câble à plusieurs brins qui se séparent les uns des autres à l'extrémité. Toutes ces formes diverses d'antennes, qui n'offrent d'ailleurs aucun intérêt, témoignent seulement de la grande faculté d'imagination de l'inventeur.

La figure 52 représente les shunts employés par l'auteur, qui sont constitués par une résistance en charbon a_3 intercalée entre deux conducteurs métalliques b_3, b_3.

Pour terminer cette revue de dispositifs récemment préconisés en télégraphie sans fil, nous décrirons le relais que M. Guarini Foresio [1] a fait breveter et qui est représenté par la figure 53.

Un commutateur 6, du genre bavarois, peut recevoir une fiche dans l'un des trois orifices 19, 20 ou 21, ce qui met en communication la pièce 22 soit avec la pièce 23, soit avec les deux pièces 23 et 24, soit avec la pièce 24. Suivant l'orifice choisi, l'appareil fonctionne comme simple récepteur, comme répétiteur et récepteur ou comme simple répétiteur.

Une boîte métallique 9, 10, 11, 12 enferme et a pour but de protéger contre les perturbations électriques un certain nombre des appareils constituant le dispositif. Cette boîte est percée d'orifices 16, 16... qui laissent pénétrer des conducteurs à son intérieur.

Supposons la fiche du commutateur 6 placée en 19 : l'appareil fonctionne alors comme

[1] Brevet anglais nº 25 591 du 27 décembre 1899.

récepteur. Les ondes captées par l'antenne 29 sont amenées par les conducteurs 31, 30 au cohéreur 1, sur lequel elles agissent en se rendant au sol par 17 et 18.

Le circuit de la pile 2 peut alors s'établir à travers les bobines du relais 4 et d'un galvanomètre indicateur 3 placé à l'extérieur de la boîte métallique 9, 10, 11, 12, et qui sert à avertir que l'appareil fonctionne. Lorsque la palette 33 ferme le contact 33-34, le courant de la pile 27 traverse les bobines du récepteur Morse 7, ainsi que celles du trembleur 5, si la clef 25 se trouve dans sa position de repos, position dans laquelle elle touche le contact 32.

Si la fiche du commutateur 6 est placée en 20, la réception d'ondes par l'antenne 29 produit la même série d'opérations, mais, de plus, l'appareil fonctionne comme répétiteur. En effet, le courant de la pile 27 traverse encore l'enroulement primaire 14 de la bobine d'induction 14-15 et en même temps la bobine 28 d'un interrupteur électrique qui, attirant la palette 31, rompt le contact 30-31 et empêche les ondes qu'émet alors l'excitateur 13-13, et qui se propagent dans l'antenne 29, d'influencer le cohéreur 1.

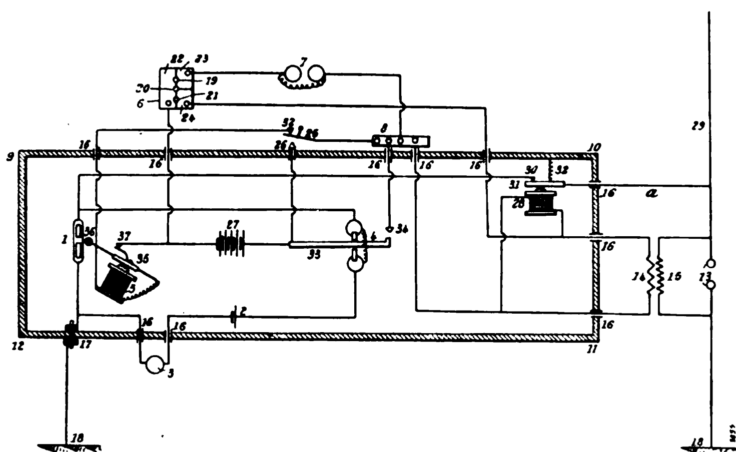


Fig. 53. — Relais Guarini Foresio.

Enfin, lorsque la fiche du commutateur 6 est placée en 21, l'appareil fonctionne seulement comme répétiteur, le courant de la pile 27 ne s'établissant plus dans les bobines du récepteur 7. Les signaux reçus sont répétés sans être enregistrés au passage.

La clef 25 permet de se servir du dispositif comme d'un transmetteur; il suffit en effet de l'actionner, après avoir placé la fiche du commutateur 6 en 21 pour actionner l'excitateur 13-13 à la manière dont une clef Morse, placée dans le circuit primaire de la bobine d'induction, peut l'actionner. Pendant ces émissions d'ondes, l'interrupteur électrique 28 empêche les ondes d'impressionner le cohéreur, du moins d'après l'inventeur.

M. Guarini Foresio semble ne s'être préoccupé en aucune manière de protéger le cohéreur contre les courants de self-induction susceptibles de prendre naissance dans les divers enroulements de ses dispositifs. Aucune des bobines, pas plus celles intérieures à la boîte 9, 10, 11, 12, que celles extérieures à cette boîte, ne sont munies de shunt. — De plus, la pile 27 se trouve avoir tantôt à entretenir un courant dans quatre enroulements à la fois : trembleur 5, récepteur 7, interrupteur 28 et primaire 14 (cas où la fiche de 6 est placée en 20), tantôt à n'entretenir son courant que dans les deux seuls enroulements 28 et 14 (cas où l'appareil fonctionne comme transmetteur par l'abaissement du levier 25); tantôt encore dans les deux seuls enroulements 5 et 7 (cas où le dispositif fonctionne comme simple récepteur); tantôt enfin dans les trois enroulements 5, 28 et 14 (cas où le dispositif devient un seul répétiteur). Il est évident que l'intensité du courant qui parcourt chaque enroulement varie d'un cas à l'autre : le frappeur 5 sera plus ou moins énergiquement actionné; la palette du récepteur 7, comme celle de l'interrupteur 28, sera plus ou moins énergiquement attirée; enfin l'intensité du courant primaire de la bobine d'induction variera suivant les cas. Il faut donc qu'on change, suivant les cas, le réglage des ressorts antagonistes des palettes, ou

mieux qu'on fasse varier la force électromotrice de la pile 27 d'un cas à l'autre ; toutes choses qui ne paraissent pas prévues et commodément réalisables dans le dispositif décrit.

Mais il y a dans l'appareil de M. Guarini Foresio un défaut plus grave et qui nous paraît réduire à néant son utilité : c'est la façon un peu sommaire et primitive dont on obtient l'interruption entre l'antenne 29 et le cohéreur 1 par la séparation de la palette 31 et du contact 29. — Prenons le cas où l'appareil fonctionne comme répétiteur : supposons qu'un signal bref soit reçu par l'antenne 29, la palette du relais 4 reçoit une brève impulsion qui, en même temps qu'elle permet à la pile 27 de décohérer le cohéreur par l'intermédiaire du frappeur 5, produit et une brève interruption en 30-31 et une brève émission d'onde en 13-13. Il nous paraît malaisé que cette brève émission d'ondes, qui se propage le long de l'antenne 29 et est susceptible d'atteindre à distance l'antenne du poste correspondant, ne puisse, concentrée qu'elle est par le fil *a* jusqu'à la palette 31, traverser la faible distance qui sépare alors la palette 31 du contact 30 (quelques millimètres) et ne vienne pas impressionner le cohéreur 1 ; et cela malgré la boîte métallique 9, 10, 11, 12 que le fil a traversée d'ailleurs sans la toucher. Si le cohéreur est, comme nous le pensons, sensible aux ondes émises par 13-13, il fermera à nouveau le circuit du relais 4, et la même suite d'opérations se répétant, le dispositif, au lieu de ne reproduire qu'un seul signal bref, répétera une suite de signaux brefs. Un point envoyé à l'appareil se répétera sous la forme d'une suite de points.

Mais admettons que la rupture du contact 30-31 soit efficace même pour les ondes produites par l'excitateur 13-13, elle le sera à plus forte raison pour les ondes reçues du poste correspondant par l'antenne 29. Supposons alors que le poste correspondant envoie un signal long destiné à produire un trait, dès que le cohéreur commence à être cohéré, le courant de la pile 27, traversant 28 en même temps que 14, interrompt la communication entre l'antenne 29 et le cohéreur 1, et la réception d'un signal long sera un signal court, la répétition d'un trait sera donc un point. Nous savons bien qu'on pourrait admettre que la réception d'un trait se fasse sous forme d'une suite de contacts et d'interruptions de la palette 31 suffisamment rapprochés pour que l'effet total soit assimilable à un long contact, mais le réglage que nécessite pour cela la palette d'un relais déjà délicat à obtenir avec un relais sensible, convenablement shunté et n'admettant qu'un courant de quelques milliampères, nous paraît illusoire à rechercher pour la palette d'un électroaimant branché sans aucun shunt en dérivation aux bornes du primaire de la bobine d'induction. En admettant que cet électro-aimant ne soit parcouru que par un très faible courant, sa palette ne manquerait pas d'être sensible aux extra-courants qui se produisent dans l'enroulement primaire.

A. Turpain.

SUR L'ACCUMULATEUR FER-POTASSE-PEROXYDE DE NICKEL

UN NOUVEAU BREVET EDISON

Dans un précédent article [1], nous avons réuni tous les renseignements actuellement connus sur l'accumulateur fer-potasse-peroxyde de nickel. Depuis, un brevet tout récent [2] nous apprend qu'Edison a apporté des modifications importantes dans la constitution des plaques et principalement dans le procédé de fabrication de la matière active.

(1) *L'Éclairage Électrique*, t. XXVIII, p. 124, 27 juillet 1901.

(2) Système perfectionné d'accumulateur, Edison. Brevet français, n° 311 020 du 21 mai 1901.

On connaît le mode de préparation du fer de la cathode en partant du monosulfure de fer. Edison obtient maintenant un composé renfermant du protoxyde de fer déjà formé et évite ainsi les charges, alternativement dans les deux sens, nécessaires dans le premier cas.

De tous les composés du fer, le protoxyde est le seul capable d'être réduit à l'état métallique par électrolyse en solution alcaline ; mais ce corps est très difficile à obtenir et à manier, car il est très sensible à l'oxydation atmosphérique et il s'enflamme spontanément.

Pour l'obtenir, Edison soumet le sesquioxyde de fer, Fe^2O^3 à la température de 260° C. dans une chambre fermée où passe un courant d'hydrogène sec. Après le refroidissement, on laisse encore passer l'hydrogène pendant 15 heures environ. La masse noire, que l'on retire ensuite, est prête à servir ; elle est composée d'un mélange de particules très finement divisées de fer métallique, de protoxyde de fer et d'oxyde magnétique. Elle renferme une grande proportion de protoxyde qui est réduite en fer métallique par le courant, pendant que le fer métallique déjà existant est inerte et que l'oxyde magnétique est à peine réduit.

La prolongation du passage de l'hydrogène à la température ordinaire a une très grande importance, car elle empêche la combustion spontanée de l'oxyde à l'air. Il se produit là un effet obscur et inconnu rendant l'oxyde non pyrophorique.

Un autre procédé, mais inférieur au précédent, d'obtention d'un composé contenant une proportion utile de protoxyde de fer disponible consiste à prendre des feuilles minces de fer de Suède et de les passer dans un moufle chauffé à blanc. Quand la feuille est recouverte d'une petite quantité d'écailles d'oxyde, on la retire du moufle en la pliant pour en détacher les écailles. Cette opération doit être faite très rapidement et les écailles ne doivent pas être trop épaisses, sans quoi la matière renfermerait moins de protoxyde et plus de sesquioxyde. Ce dernier est non seulement inerte, mais encore il empêche le contact électrique du protoxyde avec le graphite dans les poches des électrodes. Après pulvérisation, les écailles sont prêtes pour l'usage.

La première méthode est cependant la meilleure, car elle fournit plus de protoxyde à un état plus divisé. On mélange cet oxyde avec du graphite écailleux ou micacé dont les particules sont beaucoup plus grosses que les perforations des poches des électrodes.

On prend 8 parties (en poids) d'oxyde et 2 de graphite. Le mélange, humecté d'eau ou de potasse, est étalé sur une plaque de verre, puis comprimé en feuille mince par un rouleau en porcelaine ou en verre. La feuille est détachée avec une spatule, puis brisée en morceaux et recylindrée. L'opération est ainsi répétée plusieurs fois, jusqu'à ce que l'oxyde finement divisé couvre la surface entière des particules de graphite. La masse est alors séchée à l'air sur une plaque chauffée à la vapeur.

On emploie le cylindrage au lieu du broyage ou de la mouture pour conserver leur grosseur aux particules de graphite et obtenir la plus mince couche possible d'oxyde sur chaque particule de graphite.

Le mélange ainsi fait est placé dans des formes et comprimé à la pression de 300 kg par centimètre carré en blocs de la grandeur des poches des électrodes.

Pour produire l'hydroxyde de nickel, à la positive, ayant les qualités déjà décrites, Edison précipite une solution bouillante de nitrate de nickel à l'aide d'une quantité suffisante d'hydroxyde de magnésium. Après six ou huit lavages et décantages successifs, l'oxyde de nickel hydraté, absolument exempt d'impuretés, est filtré et séché. La précipitation pourrait être également effectuée par les hydrates d'oxydes de calcium ou de strontium ; mais celui de magnésium convient mieux.

Sous cette forme, l'hydroxyde de nickel peut être employé dans les poches ; mais sous l'action de la solution alcaline, il gonfle et exerce une pression excessive sur les parois des poches. Edison a trouvé que si l'hydroxyde vert est oxydé davantage, en peroxyde hydraté, le gonflement est réduit dans les limites d'élasticité des parois. Pour cette raison, il fait passer un courant de chlore gazeux sur l'hydroxyde sec qui se transforme ainsi en peroxyde, pendant que l'acide chlorhydrique formé donne une certaine quantité de chlorure de nickel qu'on élimine ensuite par lavage et qui peut servir à la préparation d'une nouvelle quantité d'hydroxyde.

Après séchage, le peroxyde de nickel est mélangé, de même que le fer, avec du graphite. Mais

on emploie ici en poids 4 parties de ce dernier pour 6 de peroxyde. La proportion de graphite est plus grande qu'à la cathode, car l'oxyde de nickel est moins conducteur.

Si l'on ne se sert pas des alcalis solubles pour la précipitation, c'est que l'hydroxyde est ainsi obtenu sous la forme colloïdale ; il est volumineux, difficile à laver et à produire à bon marché. De plus, au lieu de sécher comme une poudre, il sèche en masse dure et vitreuse et, dans les poches, gonfle énormément.

En précipitant directement un sel de nickel par les hypochlorites de potassium ou de sodium, le peroxyde hydraté a les mêmes qualités colloïdales nuisibles. D'autre part, s'il est produit par le chlore, il est imparfait, difficile à purifier et gonfle d'une manière nuisible. Ces imperfections n'ont pas lieu en partant de la magnésie hydratée.

Au sujet de la préparation des plaques, quelques modifications sont également apportées. La grille est en feuille d'acier nickelé de 0,625 mm d'épaisseur. Elle comprend 24 alvéoles et possède une queue de prise de courant munie d'un trou pour le passage de la tige reliant les plaques de même polarité. Dans les alvéoles, on vient loger 24 poches formées chacune de deux cuvettes entre lesquelles se trouve le bloc de matière active. Pour constituer les cuvettes, on prend du ruban d'acier à ressort très mince que l'on passe entre deux rouleaux découpeurs-perforateurs mâle et femelle ; les flancs sont repliés sur les côtés et les extrémités en forme de cuvette dont le dessus et les bouts sont perforés, les côtés ne l'étant pas.

Les poches sont introduites dans les alvéoles et les plaques sont ensuite comprimées sous la presse hydraulique entre deux plaques ondulées parallèles. La force exercée sur les deux cuvettes de chaque poche est de 90 000 kg environ. Pendant cette opération, les bavures des perforations pénètrent dans la matière, les poches sont serties dans les alvéoles et les ondulations raidissent la plaque et lui donnent plus de solidité mécanique.

Les parois sont élastiques, car le peroxyde de nickel (Ni^2O^3) gonfle en s'oxydant à la charge pour se contracter ensuite à la décharge en redonnant le peroxyde [1].

Pour le montage des éléments, les plaques sont séparées par des plaques ondulées, perforées, en caoutchouc durci. Les bacs sont en tôle de fer nickelée, les joints étant soudés à l'aide d'un alliage de 75 parties de cadmium et 25 parties d'étain, seule soudure reconnue inattaquable aux alcalis ou à l'action locale avec le nickel. Le bac est fermé par un couvercle que traversent les queues de plaques ; une matière imperméable est placée ensuite. Le couvercle possède un tube amovible qui permet l'introduction de l'électrolyte. Des tiges conductrices, pourvues de manchons servant d'entretoises entre les oreilles des queues, traversent celles-ci et réunissent ainsi les plaques de même polarité, le serrage étant assuré par un écrou à l'extrémité.

Les différents traitements, longs et onéreux, relatifs à la préparation des matières actives, positive et négative, ne sont pas faits pour modifier l'opinion que nous avons émise ici précédemment au sujet du prix de revient plus élevé, à égalité d'énergie, que celui de l'accumulateur au plomb. Pour lutter économiquement avec ce dernier, le nouvel élément devra donc jouir d'une durée beaucoup plus élevée que celui-ci, durée actuellement encore inconnue. L. JUMAU.

---

[1] Comme on le voit, Edison admet que dans le fonctionnement du couple il se forme à la charge un oxyde supérieur à Ni^2O^3 pendant qu'à la décharge la réduction s'arrête à Ni^2O^3. Cette théorie est, comme nous l'avons vu précédemment (*Éclairage Électrique*, t. XXVIII, p. 129), en opposition avec celle de Titus-Ritter von Michalowski. D'après cette dernière, le peroxyde Ni^2O^3 formé à la charge se réduirait en NiO à la décharge.

REVUE INDUSTRIELLE ET SCIENTIFIQUE

GÉNÉRATION ET DISTRIBUTION

Machine* E. Franke *à empâter les électrodes d'accumulateurs. Brevet allemand 120 505 du 18 mars 1900. Brevet anglais 6671 du 10 avril 1900; *Centralblatt für Accumulatoren und Elementenkunde*, t. II, p. 199, 15 juillet 1901.

Cette machine est représentée en vue de côté par la figure 1; la figure 2 est une coupe d'après la ligne AB; la figure 3 est une vue antérieure de la partie supérieure de la machine; la figure 4 est une vue antérieure de la plaque de distribution dont la figure 5 est une section. Les figures 6 et 7 sont des coupes en longueur par l'axe de la machine; la figure 8 est un plan de la machine à une échelle plus petite; la figure 9 est une vue antérieure du soutien pour la plaque d'accumulateur; la figure 10, une coupe horizontale de la machine. La figure 11 donne une idée claire de l'établissement de la plaque d'accumulateur qui est représentée en coupe par la figure 12.

Sur l'arbre 1 (fig. 1 et 6) qui est actionné par

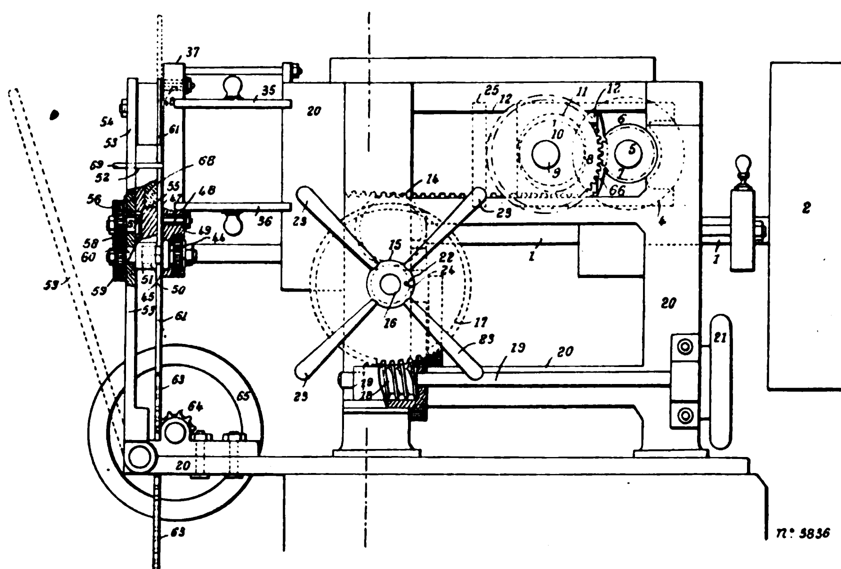


Fig. 1.

la poulie 2, on place une vis sans fin 3, qui attaque une roue hélicoïdale 4 dont l'arbre 5 porte à ses deux extrémités les roues dentées 7, 7 qui engrènent avec les roues dentées 8,8 de l'arbre 9. Ces deux arbres 5 et 9 traversent les parois latérales de la boite 6 (fig. 2). Sur l'arbre 9 sont situés, à l'intérieur des roues dentées 8,8 deux excentriques 10, 10 (fig. 1, 2 et 6) qui se trouvent dans les ouvertures ovales des parois latérales 66 d'un chariot 25 disposé en avant de la boîte 6; la paroi antérieure de ce chariot porte les tiges de pistons 26, 27 en nombre déterminé dans les deux sens; l'extrémité antérieure de ces tiges est fixée au piston 13 qui glisse dans une boîte 20 (fig. 1 et 6) recevant la matière active. A côté de chaque paroi 66 du chariot 25 se trouve en dehors une crémaillère 12 (fig. 1, 2 et 6) solidaire de la roue dentée 14. L'arbre 9 est fixé à l'extrémité droite de cette crémaillère 12. Un dispositif permet de faire tourner la roue 14 de façon à déterminer le déplacement déterminé de la crémaillère. La rotation peut être obtenue, par exemple, à l'aide de la roue dentée 15 qui reçoit son mouvement par une roue hélicoïdale 17 d'une vis sans fin 18 située sur l'arbre horizontal 19 muni du volant 21.

On opère comme suit : après introduction de

la matière dans le réservoir 20, on fait mouvoir par la roue dentée 14, la crémaillère 12 et, avec elle l'arbre 9; à ce mouvement prennent part également le chariot 25 et la boîte 6 avec l'arbre 5,

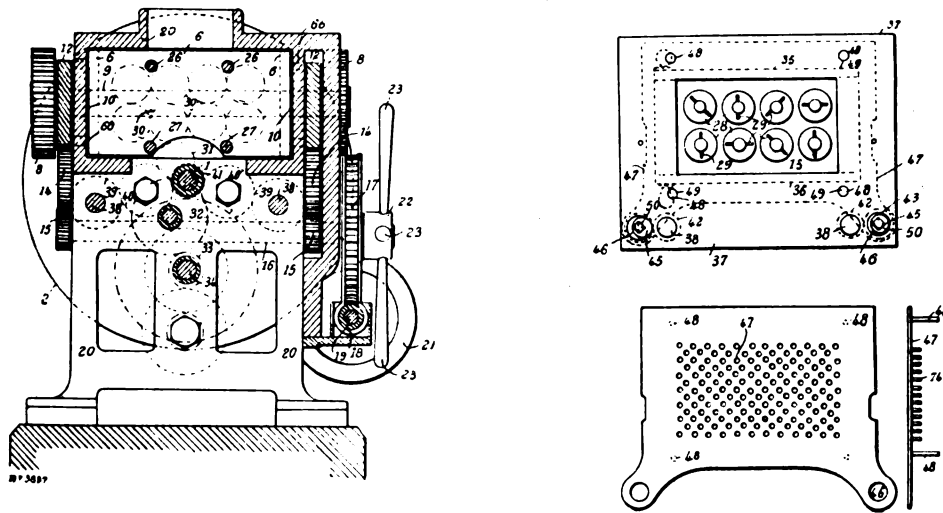


Fig. 2 à 5.

la roue hélicoïdale 4 et la vis sans fin 3; cette dernière glisse dans une échancrure de l'arbre 1. Ce mouvement est tel que la matière contenue dans le réservoir 20 est suffisamment comprimée.

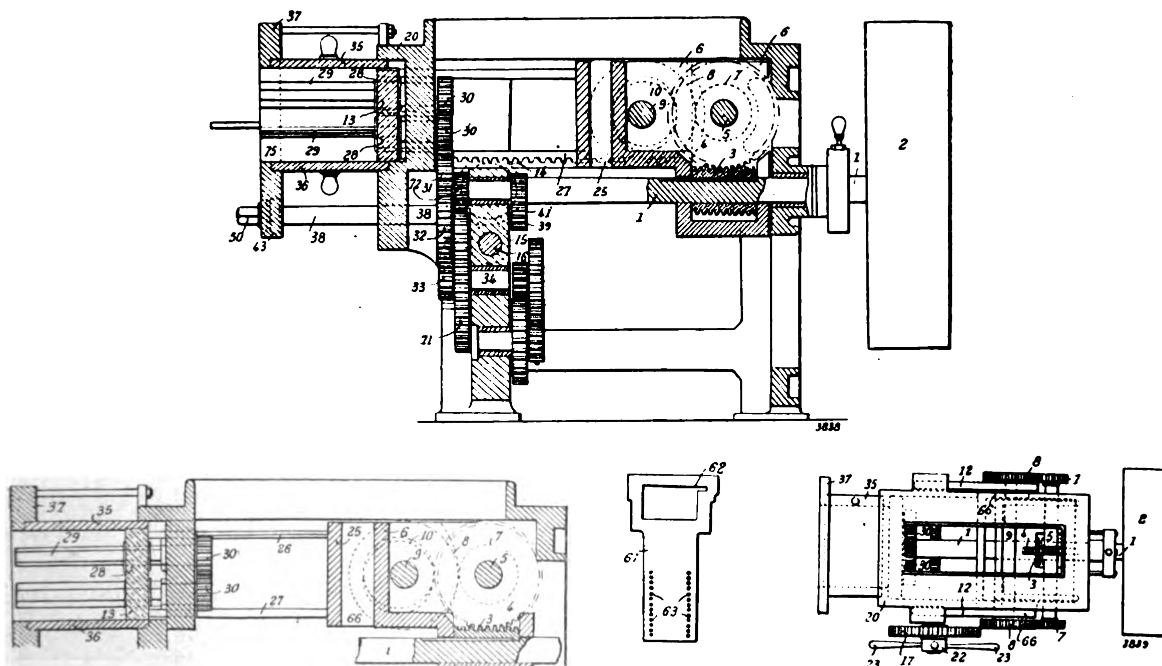


Fig. 6 à 9.

En actionnant ensuite l'arbre 1, on fait tourner l'arbre 9 et les excentriques 10 font avancer et reculer le chariot 25 une fois par tour et avec lui le piston 13. Lorsque ce dernier avance, une quantité déterminée de matière active est comprimée du réservoir dans l'électrode à empâter

disposée à la partie antérieure de celui-ci. Après

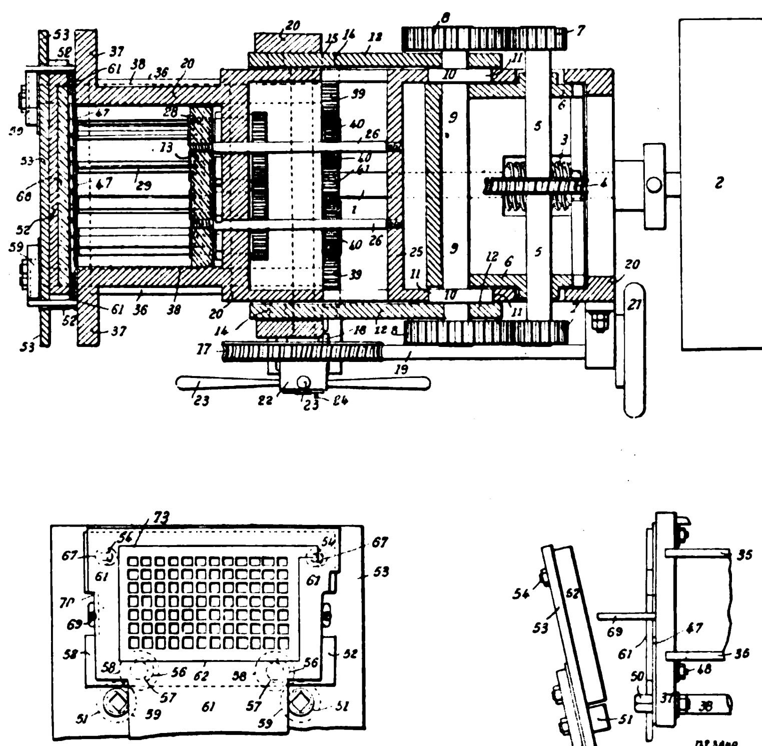


Fig. 10 à 12.

le recul du piston, on agit à nouveau comme il est indiqué plus haut sur la crémaillère 12.

L. Jumau.

Sur les diagrammes de court-circuit des accumulateurs, par **U. Schoop.** *Centralblatt für Accumulatoren-und Elementenkunde*, t. II, p. 157, 1er juin 1901.

L'auteur a entrepris de déterminer la variation de la force électromotrice et de la différence de potentiel aux bornes d'un accumulateur pour des intensités de décharge croissant jusqu'au court-circuit. Les intensités étaient maintenues pendant une très courte durée, 2 à 3 secondes, et les forces électromotrices déterminées par la méthode de l'interruption de courant.

En faisant usage de l'électrode supplémentaire, par exemple l'électrode au sulfate mercureux, on peut mesurer la chute de tension qui correspond respectivement à chacune des électrodes positive et négative pour des densités élevées de courant atteignant jusqu'à 15 fois les densités normales.

Dolezalek [1] avait déjà indiqué que la chute de tension due à la négative pouvait surpasser celle de la positive, notamment quand la capacité de celle-ci était supérieure à celle de la première.

L'auteur avait aussi montré antérieurement dans des études de variation de capacité avec l'intensité que les plaques négatives sont plus sensibles aux intensités élevées que les plaques positives, ce qui semble en contradiction avec ce fait connu que l'acide combiné à l'état de sulfate dans la positive est remplacé beaucoup plus lentement que dans la négative dont la matière est plus poreuse.

Les résultats des nouvelles expériences sont nettement exprimés par les. courbes ci-contre. Les figures 1, 2 et 3 se rapportent à un élément d'un poids total de 13 kg et composé de 2 positives de 13 mm d'épaisseur et 3 négatives de 9 mm, ces plaques comprenant une pastille de matière encadrée. Dans la figure 1, on a tracé les courbes de variation de la force électromotrice E et de la différence de potentiel e aux bornes de l'élément, en fonction de l'intensité du courant de décharge. Les figures 2 et 3 donnent respectivement les mêmes valeurs pour l'électrode positive et pour l'électrode négative. Dans tous les cas, les courbes en traits pleins, affectés de l'indice 1 se rapportent à l'élément à l'état chargé, et celles en traits ponctués affectées de l'indice 2, à l'élément déchargé après un débit de 3 heures à l'intensité normale de 25 ampères. La densité de l'acide était égale à 1,18.

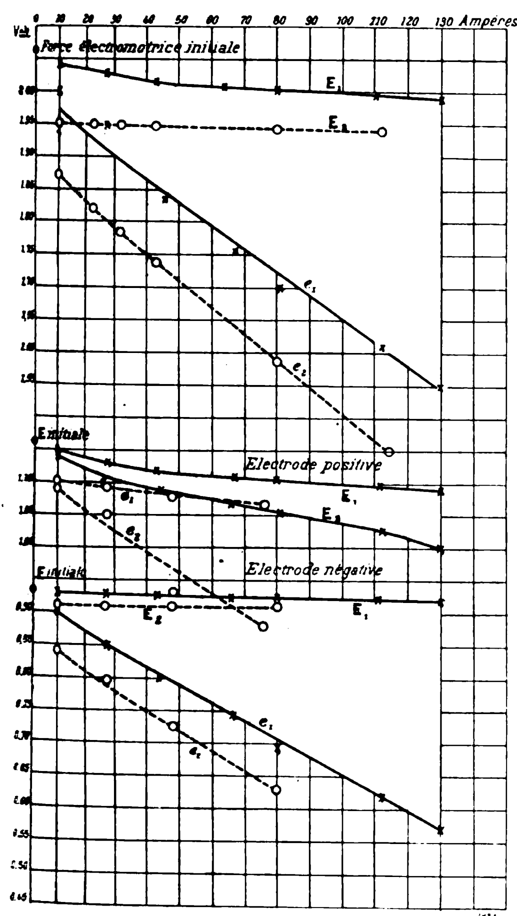
La chute de tension est, comme on le voit, considérablement plus élevée à la négative qu'à la positive. Au contraire, la force électromotrice de la négative présente une constance

(1) *Die Theorie des Bleiaccumulators*, par Dolezalek, p. 71.

remarquable et baisse moins à la fin de la décharge, que celle de la positive.

Les plaques à grille ou à grande surface se comportent beaucoup mieux que les plaques précédentes. Les courbes des figures 4, 5 et 6 montrent les résultats obtenus avec un accumulateur de traction, d'un poids total de 5 kg, et composé de 3 positives et 4 négatives à grille empâtée et de dimensions 200 mm hauteur, 125 mm largeur et 3 mm épaisseur. La densité de l'acide était égale à 1,18.

En comparant les courbes, on trouve qu'avec ce dernier élément, la chute de tension pour une intensité de 200 ampères est moindre que celle



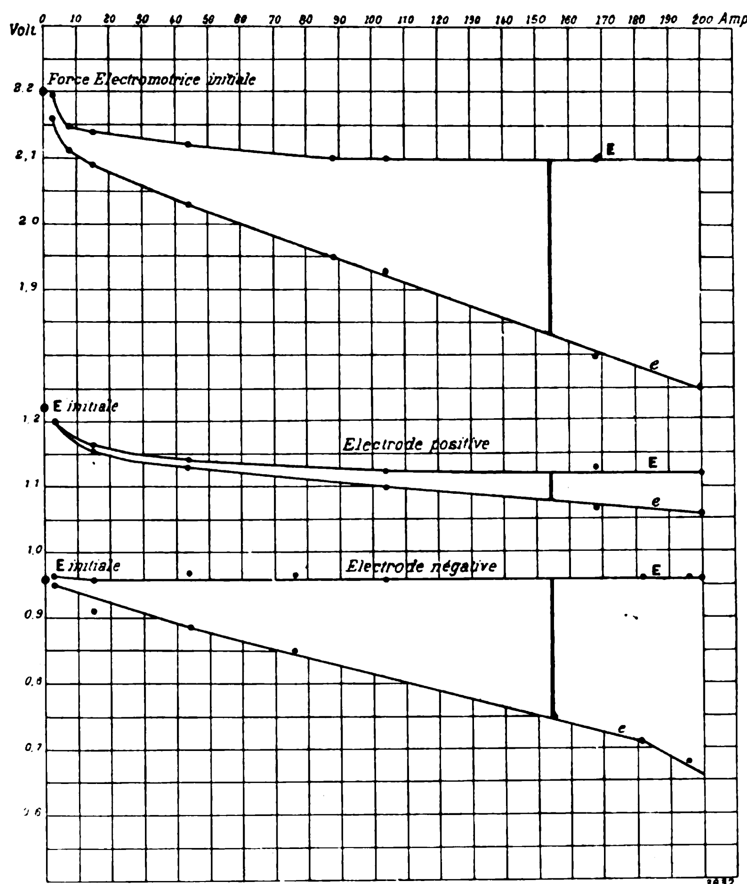


Fig. 1 à 6.

du premier élément, cependant beaucoup plus lourd, pour une intensité de 130 ampères seulement.

Il est curieux de constater que la chute de tension à la négative soit beaucoup plus grande que celle de la positive, malgré la porosité plus faible de la matière de celle-ci.

On ne peut expliquer ce fait par une variation de la force électromotrice puisque, comme on l'a vu plus haut, celle-ci est remarquablement constante. Il ne peut provenir non plus de la résistance intérieure qui est très petite. L'hypothèse d'un manque de matière active est également invraisemblable, car la chute de tension se produit aussi bien avec l'électrode négative dans l'état fin de charge que dans l'état fin de décharge.

L'auteur émet alors la supposition suivante : à l'électrode positive, l'épuisement est déterminé par le manque d'acide à l'intérieur de la plaque; à l'électrode négative, il est déterminé en première ligne par la nature physique et la quantité de plomb spongieux actif. Cette hypothèse se confirmerait d'ailleurs par d'autres

faits bien connus, telle la variation brusque de tension et de force électromotrice de l'électrode négative à la fin de la décharge, alors que la positive ne baisse que peu à peu, tel aussi le rétablissement de la force électromotrice qui intéresse surtout l'électrode positive.

L. Jumau.

Sur la mesure de la résistance intérieure des accumulateurs, par le **Dr Th. Bruger**. *Centrablat für Accumulatoren-und Elementenkunde*, t. II, p. 197, 15 juillet 1901.

La méthode décrite ici est rapide et exacte ; elle permet la mesure des résistances des éléments à circuit ouvert et à circuit fermé. Elle se rattache en principe aux méthodes de F. Kohlrausch, Uppenborn, Nernst, Gordon et Hagn ; mais elle évite l'emploi de condensateurs.

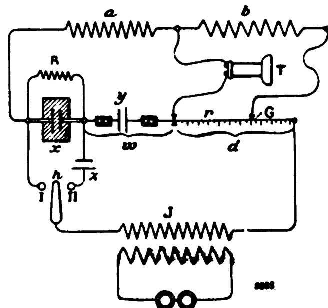


Fig. 1.

La figure 1 montre la disposition du montage : a et b sont deux résistances sans induction ni capacité, et de valeur pas trop élevée ; x est l'accumulateur à mesurer qui décharge sur la résistance R ; y et z sont deux accumulateurs supplémentaires dont les constantes n'ont pas besoin d'être exactement connues, mais qui se trouvent en état normal de charge ; d est un fil tendu de résistance faible, divisé en ohms et sur lequel un contact glissant G vient limiter la résistance r ; w désigne la résistance totale de y et des contacts des conducteurs ; h est un commutateur ; J la bobine d'induction pour la production de courants alternatifs et T un téléphone.

Par cette disposition on élimine l'action du courant continu provenant de l'accumulateur d'essai.

Si on place d'abord le commutateur h dans la position I, on a, lorsque G est dans une position telle que le téléphone ne vibre plus, la résistance étant alors r_1 :

$$\frac{a}{b} = \frac{x + w}{r_1}. \qquad (1)$$

En plaçant h dans la position II, la résistance d'équilibre devenant r_2, on a

$$\frac{x + a}{b} = \frac{w}{r_2} \qquad (2)$$

De ces deux équations, on tire

$$x = \frac{a(r_1 - r_2)}{b + r_2} \qquad (3)$$

En général a et b sont grands par rapport à r de sorte que si une approximation de 1 p. 100 environ suffit, on peut négliger r_2 devant b, et on a alors :

$$x = \frac{a}{b}(r_1 - r_2), \qquad (3a)$$

$r_1 - r_2$ est lue directement, et $\frac{a}{b}$ est choisi convenablement pour donner un rapport simple.

Comme modification, on peut relier le contact glissant G directement au téléphone comme l'indique le schéma de la figure 2.

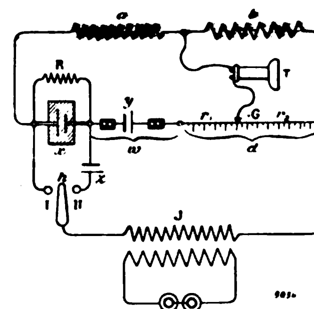


Fig. 2.

Par la mesure I, le conducteur d est divisé en deux résistances r_1 et r_2 et par la mesure II en deux autres r'_1 et r'_2. On a alors

$$\frac{x + w + r_1}{r_2} = \frac{a}{b} \qquad (1)$$

et

$$\frac{w + r'_1}{r'_2} = \frac{a + x}{b}. \qquad (2)$$

D'où on tire :

$$x = \frac{(a + b)(r_2 - r'_2)}{b + r'_2}$$

et en négligeant r'_2 devant b

$$x = \frac{a+b}{b}(r_2 - r'_2)$$

Cette disposition a sur la précédente l'inconvénient de donner pour la différence $r_2 - r'_2$ une valeur beaucoup plus petite et par suite moins précise que pour la différence $r_1 - r_2$.

La figure 3 représente le schéma de l'appareil construit par la maison Hartman et Braun pour la mesure des résistances d'accumulateurs, d'après la première méthode (fig. 1).

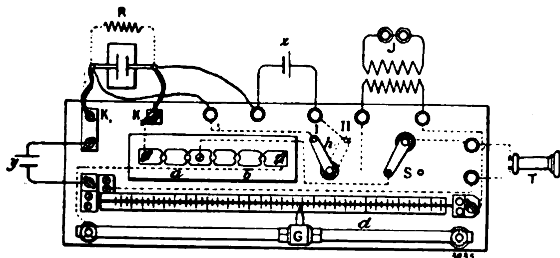


Fig. 3.

L'accumulateur x à essayer est relié aux bornes K_1 et K_2 au moyen de conducteurs souples de forte section. La clé S permet d'introduire dans le circuit le téléphone T ou de l'en retirer. Le commutateur h sert à effectuer les deux dispositions désignées ci-dessus par I et II. d est la résistance graduée en ohms et J la bobine d'induction de faible résistance intérieure

On effectue la mesure comme il est indiqué plus haut et on obtient ainsi la résistance réduite de x et de la résistance R placée en parallèle.

L. JUMAU.

Sur la résonance dans les courants alternatifs, par **Alexander Russell**. *Journal of the Institution of Electrical Engineers, London*. vol. XXX, n° 149, p. 596, avril 1901.

La théorie de la résonance avec les courbes sinusoïdales n'est utile que dans une première approximation grossière, mais ne permet pas d'expliquer en pratique un grand nombre de phénomènes importants.

Soient en série un condensateur AB (fig. 1), de capacité C, et une bobine inductive BC de résistance R et de self-induction L. Le condensateur peut être remplacé par une inductance de résistance nulle et de self-induction $\frac{1}{C\omega^2}$ ($\omega = 2\pi n$, n étant la fréquence).

Les valeurs efficaces des différences de potentiel étant V, V_1 et V_2 entre AC, AB et BC, et le courant efficace I, on sait que

$$I = \frac{V}{\sqrt{R^2 + \left(L - \frac{1}{C\omega^2}\right)^2 \omega^2}} = \frac{V_1}{\frac{1}{C\omega}} = \frac{V_2}{\sqrt{R^2 + L^2\omega^2}}.$$

La résonance a lieu lorsque

$$LC\omega^2 = 1$$

et dans ce cas

$$V = RI.$$

Le facteur de puissance est égal à l'unité.

Si l'onde n'est pas sinusoïdale, les formules

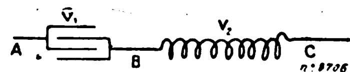


Fig. 1.

sont très compliquées. Mais cherchons comment varient les tensions aux bornes du condensateur et de la bobine avec la forme des courbes [1].

Soient e, e_1, e_2 les valeurs instantanées des voltages entre AC, AB et BC et i celle du courant,

$$e = Ri + e_1 + e_2 \qquad (1)$$

$$e_1 = \frac{1}{C}\int i\,dt \qquad (2)$$

$$e_2 = L\frac{di}{dt} \qquad (3)$$

En élevant (1) au carré et prenant les valeurs moyennes

$$V^2 = R^2I^2 + V_1^2 + V_2^2 + 2V_1V_2\cos\varphi \qquad (4)$$

φ étant la différence de phase entre e_1 et e_2 ($\varphi = 180°$ pour l'onde sinusoïdale). On a supposé qu'il n'existe pas de pertes dans le condensateur et dans l'inductance.

Par définition on a :

$$\cos\varphi = \frac{\frac{1}{T}\int_0^T e_1 e_2\,dt}{V_1 V_2}.$$

[1] Voir les résultats donnés dans le *Journal*, vol. XXIX, p. 154 et dans *L'Éclairage Électrique*, t. XXII, n° 13, p. 504.

D'après (2) et (3)

$$\frac{1}{T}\int_0^T e_1 e_2 dt = \frac{CL}{T}\int_0^T e_1 \frac{d^2e_1}{dt^2} dt$$
$$= \frac{CL}{T}\left(e_1 \frac{de_1}{dt}\right)_0^T - \frac{CL}{T}\int_0^T \left(\frac{de_1}{dt}\right)^2 dt$$
$$= -\frac{LI^2}{C}$$

$$\cos\varphi = -\frac{LI^2}{CV_1V_2}. \qquad (5)$$

On a d'une manière générale :

$$I = \alpha n V_1 C = \frac{V_2}{\beta n L},$$

α et β étant des constantes qui dépendent de la forme de l'onde du courant. En portant ces valeurs dans (5).

$$\cos\varphi = -\frac{\alpha}{\beta}. \qquad (6)$$

Substituant dans (4)

$$\frac{V^2}{I^2} = R^2 + \frac{1}{\alpha^2 n^2 C^2} + \beta^2 n^2 L^2 - 2\frac{L}{e}. \qquad (7)$$

C'est la formule de l'impédance entre A et C, quand on connaît la forme de l'onde [1].

Il est facile de voir géométriquement les valeurs de V_1 et V_2 pour un voltage V donné, et une forme d'onde donnée. Afin d'éviter la représentation dans l'espace, nous supposerons que la résistance du circuit est nulle. Soit OA (fig. 2) le vecteur V_1 représentant le voltage du condensateur, OB celui de la bobine inductive. La diagonale OC du parallélogramme est le voltage efficace V. Plus l'angle AOB sera grand, plus l'onde sera sinusoïdale, et plus OC sera petit par

Fig. 2.

rapport à ses composantes; les effets dus à la résonance seront alors plus considérables.

Soit OP (fig. 3) le voltage V appliqué au circuit.

Supposons qu'on modifie la forme de l'onde

Fig. 3.

du voltage, en même temps que l'inductance varie, de manière que l'onde du courant ait toujours la même forme; l'angle AOB restera constant.

Si le voltage V reste constant, le lieu du point P est une circonférence. Pour une capacité nulle, P est sur OA. La capacité augmentant, la différence de potentiel aux bornes du condensateur augmente et atteint son maximum OS

[1] *Exemples numériques*. Pour une onde sinusoïdale $\alpha = \beta = 2\pi$ et $\varphi = 180°$.

Pour une courbe parabolique

$$\alpha = 2\sqrt{\frac{168}{17}},\ \beta = \sqrt{40} \text{ et } \varphi = 173°46'.$$

Pour une courbe triangulaire

$$\alpha = \sqrt{40},\quad \beta = \sqrt{48},\quad \varphi = 155°54'.$$

Si dans (7) on suppose C infini, c'est-à-dire le condensateur en court-circuit, on trouve pour l'impédance ρ de la bobine inductive :

Parabole

$$\rho^2 = R^2 + 1{,}013\ L^2\omega^2.$$

Triangle

$$\rho^2 = R^2 + 1{,}216\ L^2\omega^2.$$

Cependant l'impédance n'est de la forme $\sqrt{R^2 + \gamma L^2\omega^2}$ (γ étant une constante) que dans des cas particuliers. En général c'est une fonction compliquée de R, L et ω.

Dans le cas de la résonance

$$LC\omega^2 = 1$$

et

$$\rho^2 = R^2 + \left(\frac{4\pi^2}{\alpha^2} + \frac{\beta^2}{4\pi^2} - 2\right)L^2\omega^2.$$

Pour la parabole

$$\rho^2 = R^2 + 0{,}0119\ L^2\omega^2.$$

Pour le triangle

$$\rho^2 = R^2 + 0{,}2028\ L^2\omega^2.$$

lorsque QOB est un angle droit. Dans ce cas

$$V_2 = - V_1 \cos \varphi$$

et

$$CL (\beta n)^2 = 1. \tag{8}$$

Le voltage V_2 aux bornes de la bobine atteint son maximum quand AOC est droit, alors

$$CL (an)^2 = 1. \tag{9}$$

La valeur maxima de V_1 ou de V_2 est

$$\frac{V}{\sin \varphi} = V \frac{\beta}{\sqrt{\beta^2 - a^2}} \text{ [1]}.$$

Pour des ondes très déformées on risque bien moins d'avoir des voltages excessifs dus à la résonance, qu'avec des ondes presque sinusoïdales.

Un circuit résonant ne peut avoir un facteur de puissance égal à l'unité que quand l'onde de la différence de potentiel appliquée est sinusoïdale.

Il est démontré (*Electrician*, 3 novembre 1899, p. 49) que le facteur de puissance d'un circuit ne peut être égal à l'unité que si le rapport $\frac{e}{i}$ est constant à chaque instant. Si la résistance du circuit est constante, ce rapport est égal à R, et alors d'après (1), (2) et (3)

$$L \frac{di}{dt} + \frac{1}{C} \int i dt = 0$$

$$i = A \sin \left(\frac{2\pi t}{T} + B \right)$$

où A et B sont des constantes et $T = 2\pi \sqrt{LC}$.

Et comme $e = Ri$, la différence de potentiel est aussi sinusoïdale.

Puisque

$$C = anV_1 C = \frac{V_2}{\beta n L}$$

$$\frac{V_1}{V_2} CL (2\pi n)^2 = \frac{4\pi^2}{a\beta}.$$

Dans le cas de la résonance

$$CL\omega^2 = 1$$

et

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{4\pi^2}{a\beta}. \tag{10}$$

Le rapport de V_1 à V_2 indique combien l'onde du courant diffère de la forme sinusoïdale. Plus le rapport est petit, plus le courant est déformé.

Dans la figure 4 la courbe I du courant est parabolique. E_1 représente la différence de potentiel aux bornes du condensateur, cette courbe ressemble à une sinusoïde. E_2, courbe de la différence de potentiel aux bornes de la bobine inductive, est de forme triangulaire. E est l'onde de la différence de potentiel qui doit être appliquée pour produire un courant parabolique ; elle s'écarte beaucoup de la sinusoïde. D'après un théorème général, l'onde de la différence de potentiel est bien plus déformée dans la bobine que dans le condensateur, sauf lorsque la différence de potentiel est sinusoïdale.

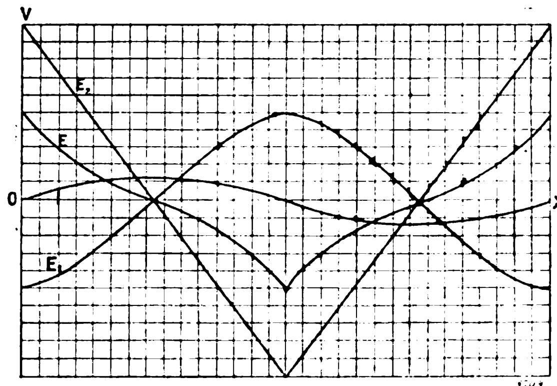


Fig. 4.

Résonance des courants. — Soit (fig. 5) un condensateur shunté par une inductance. Le courant principal est souvent très petit à côté des courants dérivés. Si e, i_1, i_2 sont les valeurs instantanées de la différence de potentiel et des courants dans le condensateur et dans la bobine,

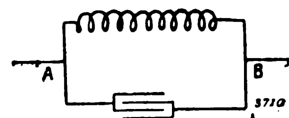


Fig. 5.

$$i_1 = C \frac{de}{dt}, \qquad e = L \frac{di_2}{dt};$$

[1] Si on substitue dans cette formule les valeurs de a et β données, on trouve que pour une onde de courant parabolique le maximum de V_1 est 9,22 V, pour une onde triangulaire 2,45 V.

d'où

$$i_1 = CL\frac{d^2 i_2}{dt^2}.$$

I_1 I_2 étant les valeurs efficaces de i_1 i_2, on sait que

$$I_1 = anVC, \quad I_2 = \frac{V}{\beta n L}.$$

φ étant la différence de phase entre les deux courants, on verra comme précédemment que

$$\cos\varphi = -\frac{C}{L}\frac{V^2}{I_1 I_2},$$
$$= -\frac{\beta}{a};$$

φ ne dépend que de la forme de la différence de potentiel appliquée. Pour des ondes très déformées, φ n'est guère supérieur à 90°

Sur la figure 3, si OB représente le courant du condensateur et OA celui de la bobine, OC donnera le courant principal. Si la capacité du condensateur est fixe, la valeur minima du courant principal est $I_1 \sin\varphi$, dans ce cas

$$I_2 = -I_1 \cos\varphi$$
$$CL(\beta n)^2 = 1.$$

Si l'inductance de la bobine est fixe, le minimum du courant principal est $I_2 \sin\varphi$ et à ce moment

$$CL(an)^2 = 1 \ (^1).$$

Essai de la distorsion de l'onde. — Si un condensateur est shunté par une bobine inductive de façon que

$$CL\omega^2 = 1$$

dans ce cas

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{a\beta}{4\pi^2}.$$

Lorsque $I_1 = I_2$ l'onde est sinusoïdale. Plus le rapport est grand, plus l'onde est déformée.

En outre, plus le courant dans la ligne principale est petit par rapport à I_1 ou à I_2, plus la forme de l'onde se rapproche de la sinusoïde.

A. Nunès.

(1) *Exemples numériques.* — 1° Pour une onde sinusoïdale $\varphi = 180°$ et le courant principal est nul lorsque

$$CL\omega^2 = 1.$$

2° Pour la parabole $\varphi = 173°46'$. Si I_1 est constant le minimum du courant principal est 0,1086 I_1 pour

$$1,001\ CL\omega^2 = 1.$$

Si I_2 est constant le minimum est 0,1086 pour

$$1,013\ CL\omega^2 = 1.$$

3° Pour le triangle $\varphi = 155°54'$. Lorsque I_1 varie, le minimum du courant principal est 0,4083 I_1 pour

$$1,013\ CL\omega^2 = 1.$$

Si I_2 varie, le minimum est 0,4083 I_2 pour

$$1,216\ CL\omega^2 = 1.$$

MOTEURS ÉLECTRIQUES

Moteur à courant alternatif simple, sans balais et démarrant seul, par **J. Fischer Hinnen.**

A propos de l'article publié sous ce titre dans le numéro du 5 octobre, l'auteur nous adresse de Prague la rectification suivante :

« Il s'est glissé dans la dernière phrase de l'article paru dans le dernier numéro de votre revue sur un moteur à courant alternatif simple une regrettable erreur que les lecteurs auront sans doute corrigée d'eux-mêmes.

» Voici comment cette phrase doit être comprise : il faut de plus choisir le rapport des nombres des dents de l'induit de manière qu'il ne se produise pas de points de freinage, au lieu « d'étincelles ».

Commutateurs à relais Sautter-Harlé et Cie pour la commande à distance des moteurs polyphasés. Brevet français, n° 308 145, pris le 14 février 1901.

Ce commutateur à relais a pour but de commander à distance l'ouverture ou la fermeture du rhéostat de démarrage d'un moteur triphasé. On peut lancer le moteur dans les deux sens ou l'arrêter, en introduisant une ou plusieurs sections d'un rhéostat convenablement calculé ; la distance à laquelle peut se faire cette manœuvre dépend uniquement du voltage que l'on admet dans la ligne qui réunit le manipulateur de commande au commutateur à relais magnétique.

La figure représente le moteur triphasé 1, son circuit primaire 2 ou inducteur, son circuit secondaire 3 ou induit. Le circuit primaire porte trois bornes 4, 5, 6 connectées avec trois câbles qui amènent le courant triphasé des lignes I, II, III.

Les commutateurs 7, 8 et 9 sont de construction identique. Les deux premiers servent à

lancer le moteur l'un à droite, l'autre à gauche. Le troisième sert à mettre en court-circuit le rhéostat.

Le commutateur 7, par exemple, est formé d'un levier 10, mobile autour d'un axe horizontal, et portant l'armature 12 d'un relais à trois noyaux 13, 14, 15. Chaque noyau est alimenté par l'une des phases; les extrémités de leurs enroulements sont réunies en un point neutre ou connectées en polygone. Les noyaux ainsi que l'armature 12 sont en tôles isolées. L'extrémité du levier 10 supporte quatre touches venant faire contact sur quatre plots. Un ressort *r* ramène le levier lorsque le courant est coupé.

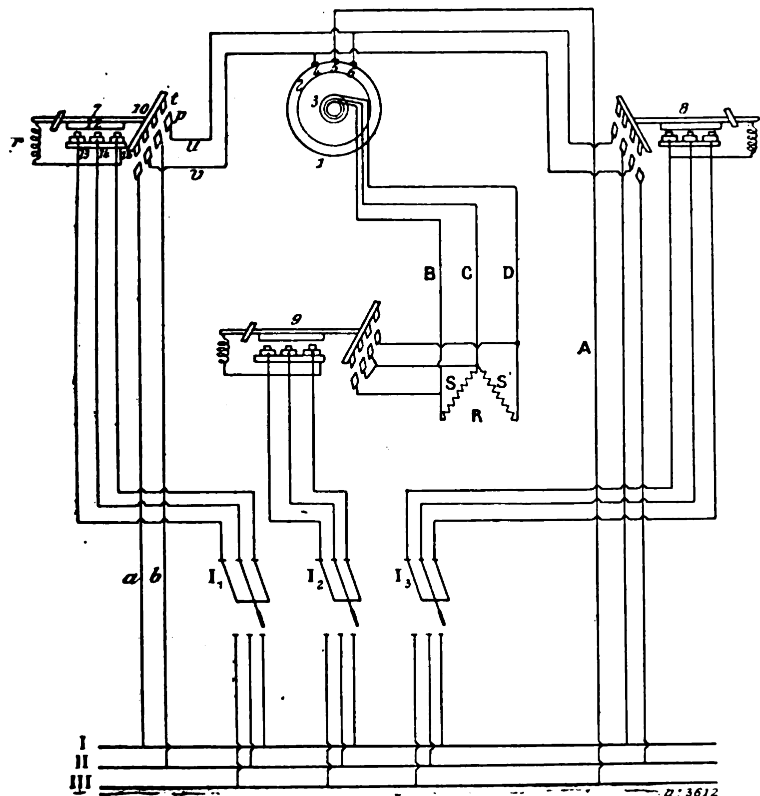


Fig. 1.

Le courant est pris en dérivation par les interrupteurs tripolaires I_1, I_2, I_3.

Le circuit de l'induit du moteur aboutit à trois bagues, qui sont réunies par les conducteurs B, C, D aux extrémités d'un rhéostat R formé de deux sections S, S'. Cette disposition suppose que l'enroulement secondaire de l'induit est fait avec deux phases, le même principe s'appliquerait à un enroulement triphasé.

Lorsqu'on veut lancer à distance le moteur dans un sens, on ferme l'interrupteur tripolaire commandant l'un des relais 7 ou 8, soit par exemple I_1. Le courant se rend dans les trois noyaux, l'armature 12 est attirée; le levier 10 s'abaisse et ferme les quatre contacts. Le courant de la phase I passe alors par *a*, *v* et aboutit à la borne 4; le courant de la phase II passe par *b*, *u* et aboutit à la borne 6. Le courant de la phase III n'est jamais coupé et se rend par A à la borne 5.

Le moteur se met en marche, le rhéostat R étant intercalé. Après le démarrage, on ferme l'interrupteur I_2. L'armature du relais 9 est attirée, ce qui ferme les contacts et met en courtcircuit les sections S et S' du rhéostat.

Si l'on veut pousser plus loin la division du rhéostat de démarrage, on emploiera deux ou plusieurs relais tels que 9 pour la mise en court-circuit de chacune des sections de ce rhéostat. Le procédé de commande à distance permet également de faire des réglages de vitesse par l'introduction d'un rhéostat gradué dans le circuit de l'induit.

Les contacts des commutateurs à relais peuvent être construits d'une manière quelconque. On peut notamment employer des contacts doubles en charbon et en métal, la rupture se faisant toujours entre deux touches en charbon, de façon à ce que l'étincelle ne se produise jamais sur des touches métalliques pour les détruire.

A. Nunès.

DÉCHARGE ÉLECTRIQUE

Résultat de mesures de déperdition électrique, par **A. Pochettino**. *Il Nuovo Cimento*, t. I, p. 453, juin 1901.

Elster en rapportant les nombres obtenus dans des mesures de déperdition électrique exécutées pendant un voyage dans la Mer Glaciale,

a relevé (¹) comment, lorsque l'humidité relative croît, le coefficient de déperdition dans l'air libre diminue, quel que soit le signe de l'électricité. On donne comme explication de ce fait, que, si la vapeur d'eau contenue dans l'air est très voisine de son point de condensation, un grand nombre de ses ions libres existant dans l'atmosphère subissent une notable diminution de leur mobilité.

Pochettino, au cours de mesures effectuées de juillet à octobre, à la station météorologique de Conegliano, a vérifié les résultats précédents. La méthode employée est celle même d'Elster et Geitel dans leur recherche si l'air est légèrement conducteur et si sa conductibilité doit s'attribuer principalement à une ionisation partielle (²).

Les coefficients de déperdition obtenus avec des charges positives et négatives sont, dans des conditions semblables, égaux au degré d'approximation des expériences. La nature du sol et du milieu environnant est sans influence sur la mesure. Il en est de même de la température, de l'humidité absolue, de la force du vent et de l'état du ciel.

En effectuant des mesures de chute de potentiel, l'auteur relève deux maxima caractéristiques à onze et à seize heures, et deux maxima secondaires à neuf et à treize heures. On ne remarque rien d'analogue dans les valeurs du coefficient de déperdition.

Conformément à ce qui a été signalé par Elster, aux valeurs les plus grandes de l'humidité absolue correspondent les valeurs les plus faibles du coefficient. Cette relation est générale et indépendante du signe de l'électricité. Cependant, pendant les pluies, le coefficient croît pour les charges positives et reste à sa valeur normale pour les charges négatives. Ce fait est d'accord avec les résultats obtenus par Elster et Geitel au voisinage d'une chute d'eau.

G. Goisot.

Sur l'énergie absorbée par l'étincelle dans les différents états de la radiation cathodique, par **P. Cardani**. *Il Nuovo Cimento*, t. I, p. 241, avril 1901.

Les recherches du professeur Cardani avaient pour but de déterminer comment se modifie l'énergie qui est absorbée par l'etincelle lorsque la raréfaction va progressivement en augmentant à partir des pressions auxquelles commencent les phénomènes cathodiques. Elles sont en quelque sorte la suite d'un travail précédent du même auteur fait aux pressions plus élevées (¹). Une partie des résultats obtenus par Cardani confirment ceux que Villard a indiqués en 1899 (²).

La disposition expérimentale est la suivante : les armatures externes de deux grands condensateurs cylindriques sont respectivement reliées aux deux pôles d'une machine de Holtz-Voss, le spintéromètre principal avec une distance explosive restée invariable de 2 cm est en dérivation ; les armatures internes sont reliées par un circuit qui comporte le fil de platine d'un thermocalorimètre à pétrole et le tube à vide où a lieu la décharge. Le circuit est complété par de gros conducteurs métalliques. Une longue et très mince colonne d'eau est en dérivation entre les armatures internes, de telle sorte que la charge du condensateur s'obtient régulièrement à travers cette colonne, tandis que la décharge traverse presque entièrement le circuit du tube à vide.

De cette façon, la quantité d'énergie absorbée sous forme de chaleur dans les gros conducteurs est négligeable et l'énergie disponible se retrouve presque intégralement distribuée entre le thermocalorimètre et le trajet de l'étincelle. Si cette quantité est constante, la partie absorbée par l'étincelle est le complément de celle qui est mesurée dans le calorimètre à pétrole.

Les expériences montrent que la quantité d'électricité qui traverse le circuit est constante quelque soit la pression dans le tube à vide.

L'auteur a opéré avec l'air, l'hydrogène et l'anhydride carbonique, et il a constaté que la suite des modifications qui se présentent dans l'aspect de l'étincelle lorsque la raréfaction augmente est identique pour les trois gaz, et que ces modifications correspondent à la même pression, dans tous les cas où les pressions sont mesurables directement au manomètre. L'auteur a admis qu'il devait en être encore de même pour les pressions inférieures auxquelles

(¹) Elster. *Physikalische Zeitschrift*, 24 novembre 1900.

(²) Elster et Geitel. *Annalen der Physik*, n° 7, p. 425, 1900.

(¹) P. Cardani. *Il Nuovo Cimento*, t. XI, février 1900.

(²) Villard. *Journal de Phys.*, t. VIII, p. 1 et 148, 1899.

se manifestent les rayons cathodiques; il s'est alors servi de l'aspect de la décharge comme caractéristique des conditions de chaque expérience. Les résultats sont les suivants.

L'énergie absorbée par les gaz traversés par la décharge subit une modification importante lorsque l'étincelle passe de l'état de trait brillant à celui d'aigrette lumineuse; à la pression de 100 mm de mercure, quand la transformation est complète, l'énergie absorbée passe par un maximum (environ les 9/10 de l'énergie disponible), sa valeur baisse ensuite rapidement jusqu'à 1/10 quand l'espace obscur est détaché de la cathode de 10 à 20 mm. Cette marche du phénomène a d'ailleurs été déjà indiquée.

Lorsque les phénomènes cathodiques commencent à se manifester, tout au début, l'énergie absorbée continue très légèrement à diminuer. Puis, l'énergie absorbée augmente avec la raréfaction et atteint la moitié de l'énergie disponible quand les rayons X commencent à apparaître, cette augmentation continue et la valeur tend vers 9/10 quand les raxons X ont acquis une grande intensité. On peut aussi admettre que pour les raréfactions très poussées auxquelles l'intensité des rayons X est rapidement modifiée, on n'observera rien de singulier au point de vue de l'énergie absorbée dans le tube; il semble donc que les modifications de l'énergie dans les différents états de la radiation cathodique ne sont pas absolument liées à l'émission des rayons X, dont la production dépend seulement des conditions particulières des parois du tube frappées par le faisceau cathodique.

Les expériences montrent que, à tous les degrés de la radiation cathodique, on n'observe aucune différence entre les quantités d'énergie absorbée par l'étincelle pour l'air, l'hydrogène et l'anhydride carbonique, lorsque la comparaison est faite aux mêmes aspects du tube. Si donc l'on admet qu'au même aspect du tube, correspondent les mêmes conditions mécaniques des gaz traversés par l'étincelle, on peut conclure que l'énergie absorbée dans le tube aux mêmes conditions de la radiation cathodique est indépendante de la nature du gaz.

Ceci n'a pas lieu pour les pressions supérieures à celles qui correspondent aux phénomènes cathodiques.

L'énergie absorbée dans le tube aux différents états de la radiation cathodique éprouve de sensibles modifications par le passage prolongé de décharges successives. L'effet observé alors est analogue à celui que l'on obtient en diminuant progressivement la pression : l'énergie absorbée augmente par un passage prolongé des décharges de la batterie.

G. Goisot.

Courbes caractéristiques dans la décharge électrique à travers les gaz raréfiés, par **Ed. Riecke**. *Dr Ann.* t. IV, p. 592-617, mars 1901.

Ces courbes sont analogues aux courbes caractéristiques des dynamos; elles s'obtiennent en prenant pour abscisses l'intensité i du courant qui

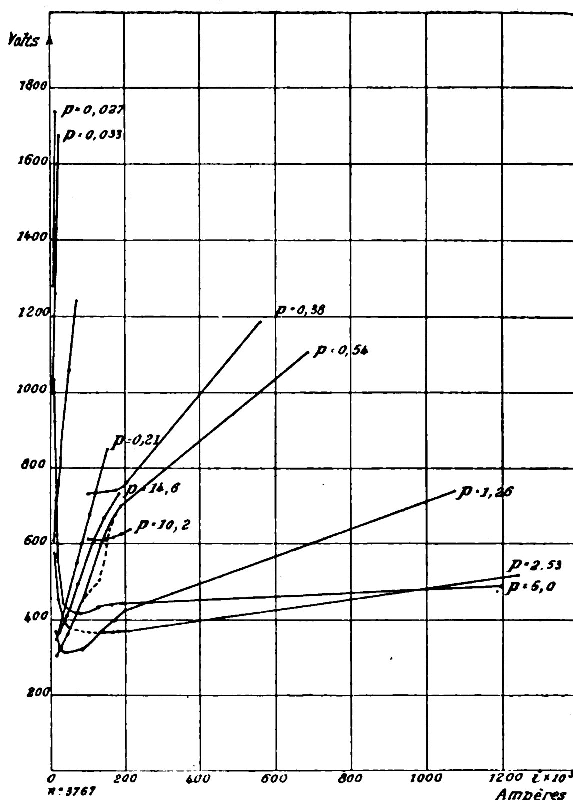


Fig. 1.

traverse le gaz et pour ordonnée la différence de potentiel e entre les électrodes. Si E est la force électromotrice de la source, r la résistance extérieure du circuit.

$$E - ir = e.$$

Si E et r restent constants, la caractéristique est une droite. On obtient cette droite en joi-

gnant le point E ($e = E$, $i = O$) au point (e_0, i) correspondant à un couple de valeurs e_0, i déterminées par l'expérience le champ magnétique à l'intérieur du tube étant nul (fig. 1).

Si on excite un champ magnétique à l'intérieur du tube, la forme de la caractéristique change. Pour rendre plus visible l'influence du champ magnétique, on calcule la différence entre les valeurs de e qui s'obtiennent, par la même intensité, en dehors du champ magnétique et

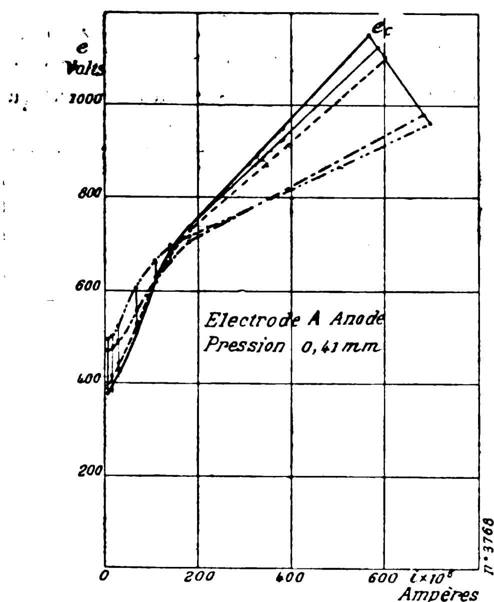


Fig. 2.

dans le champ magnétique : on trace ensuite la courbe ayant pour abscisses les intensités i et pour ordonnées ces différences. Ces mêmes courbes peuvent aussi être considérées comme obtenues par le déplacement des courbes primitives dans la direction de l'axe des e : ce déplacement est assujetti à la condition que les points de différentes courbes situés sur une même parallèle à l'axe des e gardent la même distance.

Sur les figures 2 et 3, les courbes qui correspondent au champ magnétique nul sont tracées en trait fort : les autres correspondent à diverses intensités du champ magnétique.

L'action du champ magnétique se traduit sur la construction graphique par une rotation de la caractéristique e_0 dans le sens direct. Quand l'intensité du champ magnétique augmente, l'amplitude de cette rotation augmente et en même temps le centre de rotation s'éloigne sur la courbe primitive e_0 vers la région des intensités croissantes.

Les courbes reproduites ont été obtenues avec un récipient sphérique de 5,9 cm de rayon : l'une des électrodes A a son centre dans le plan diamétral horizontal de la sphère, l'autre B également, mais son plan est à 90° du plan de A. Lorsque A est cathode, la rotation de la caractéristique est beaucoup plus forte et le centre

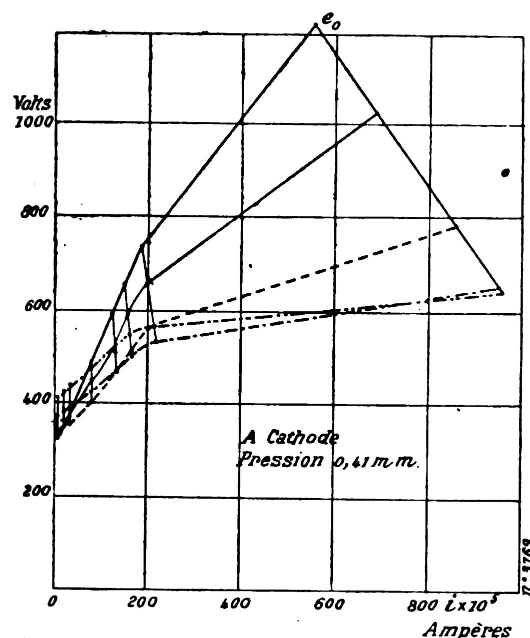


Fig. 3.

de rotation est beaucoup plus près de l'origine des i. Les conclusions qui découlent de l'ensemble des expériences sont que :

L'action du champ magnétique sur la décharge se décompose en deux parties, qui portent l'une sur la portion anodique, l'autre sur la portion cathodique. Le champ magnétique provoque une variation de la différence de potentiel de décharge : une augmentation à l'anode, une diminution à la cathode. La grandeur de ces variations dépend de l'intensité du courant, mais suivant des lois différentes : pour les faibles intensités c'est l'action sur la décharge positive qui est la plus grande et inversement. Par suite, il existe une valeur particulière de l'intensité pour laquelle le champ magnétique ne modifie pas la différence de potentiel de décharge et cette intensité croît en même temps que l'intensité du champ magnétique.

Le champ magnétique provoque un allongement et diminution de section de la décharge positive, d'où l'élévation de la différence de potentiel. Dans la décharge négative, le champ magnétique provoque une contraction de la région obscure et de la lueur négative, contraction qui devient très grande si le champ est intense : il s'ensuit une diminution de la chute de potentiel à la cathode.

L'allure générale de tous ces phénomènes reste la même quand on fait varier la pression du gaz. Aux pressions élevées, on n'observe guère que l'action du champ magnétique sur la partie positive de la décharge, beaucoup plus énergique d'ailleurs quand la cathode est en A. Cette circonstance décèle la dissymétrie du dispositif, qui s'accuse d'autre part par l'aspect des phénomènes lumineux.

Sur quelques-uns des diagrammes, les caractéristiques se croisent avec la caractéristique primitive e_0. Il est à présumer que pour des décharges plus intenses, on observerait une diminution de la différence de potentiel. Le point d'intersection correspond en effet à la compensation mutuelle des effets de signe contraire du champ magnétique sur les deux portions de la décharge : il représente une intensité du courant de décharge d'autant moindre que la pression est plus basse [1].

L'étude du courant de décharge au moyen du téléphone montre que ce courant est assez rarement continu. Aux pressions élevées, le téléphone ne reste jamais silencieux : aux pressions plus basses, le courant est à peu près continu et on ne perçoit qu'un léger bourdonnement de temps à autre. M. Lamotte.

Influence des radiations sur la décharge par étincelle, par **E. Warburg**. *Dr. Ann.*, t. V, p. 811-818, août 1901.

Décharge par étincelles sous l'influence des oscillations rapides, par **K.-E. Guthe**. *Dr. Ann.*, t. V, p. 818-829, août 1901.

La décharge se produit entre deux boules de métal poli, l'une A est reliée au sol, l'autre B est portée à un potentiel croissant. Il faut distinguer deux cas :

1° Le potentiel de B est accru lentement.

[1] Cf. Paalzow et Neesen. *L'Éclairage Électrique*, t. XVI, p. 164; juillet 1898.

Si l'exploseur est protégé contre les radiations actives, le retard, c'est-à-dire l'intervalle de temps qui sépare l'établissement du potentiel de la production de l'étincelle, rend impossible toute mesure exacte de la différence de potentiel explosive quand il est grand. Ce cas se présente dans la plupart des gaz secs lorsque l'intervalle explosif est petit.

Si l'exploseur est soumis à l'action des radiations actives, rayons ultra-violets de Rœntgen ou de Becquerel d'une intensité suffisante, il ne se produit pas de retard ; l'étincelle éclate aussitôt que le potentiel de B a atteint une certaine valeur qu'on peut déterminer avec précision et qui est indépendante de la nature des radiations.

Il n'y a pas dans le cas où la différence de potentiel croît lentement, d'abaissement de la différence de potentiel explosive sous l'influence des radiations, mais seulement suppression du retard.

2° Le potentiel de B est élevé rapidement : par exemple, on relie la boule B, jusque-là en communication avec le sol, brusquement avec l'armature interne d'une bouteille de Leyde. Il arrive, dans certaines circonstances, que l'exploseur étant irradié, l'étincelle se produit déjà, alors que le potentiel de la bouteille de Leyde est inférieur au potentiel explosif déterminé dans le cas précédent.

D'après M. Swyngedauw, ce phénomène est dû à ce que l'action des rayons ultraviolets abaisse le potentiel explosif, d'autant plus que le potentiel est établi plus rapidement.

Cependant il faut remarquer que dans ces expériences l'exploseur, au moment où on établit la communication avec la bouteille, se charge par des oscillations amorties, pendant lesquelles la différence de potentiel entre les pôles prend momentanément une valeur plus grande que le potentiel de la bouteille. Si la capacité de l'exploseur est négligeable vis-à-vis de celle de la bouteille et l'amortissement négligeable pour la première demi-oscillation, la différence de potentiel maxima peut être égale à deux fois celle des armatures de la bouteille.

Il est donc possible que la diminution de la différence de potentiel explosive admise par M. Swyngedauw n'est qu'apparente et qu'en fait la différence de potentiel atteint ou dépasse momentanément la différence de potentiel explosive normale.

Pour le vérifier, M. Warburg effectue les expériences suivantes.

Deux bouteilles, l'une de grande capacité $C_1 = 0{,}0067$ microf., l'autre de petite capacité $C_2 = 0{,}000328$ microf. ont leurs armatures externes reliées au sol. Sur la communication sont insérés un rhéostat électrolytique et une bobine dont le coefficient d'induction propre est 42 100 cm. Aux armatures de la bouteille sont reliées les boules de l'exploseur qui sont d'ordinaire éclairées par la lumière d'une lampe à arc concentrée par une lentille de quartz.

D'après la théorie des oscillations, on peut calculer les valeurs maxima que peut prendre la différence de potentiel entre les boules.

Si on supprime la bobine et le rhéostat, la charge des boules se fait sous forme oscillatoire. La différence de potentiel explosive normale étant de 4190 volts, il suffit de charger la bouteille C_1 à 2920 volts pour que l'étincelle éclate dans l'exploseur irradié quand on établit brusquement la communication entre C_1 et C_2. En fait, la différence de potentiel maxima qui résulte des oscillations peut atteindre ici 5500 volts. Si on porte la résistance du circuit à 306 ohms, la charge des boules se fait suivant une loi apériodique, il faut charger la bouteille C_1 à 4 365 volts, ce qui correspond à une différence de potentiel limite de 4 150 volts entre les boules : cette limite est, aux erreurs d'expérience près, égale à la différence de potentiel explosive normale.

Enfin, on met à la fois dans le circuit la bobine et la résistance, ce qui réalise de nouveau les conditions du régime oscillatoire. En chargeant C_1 à 3950 volts, la différence de potentiel maxima peut s'élever ici à 4 750 volts, soit 600 volts au-dessus de la différence de potentiel explosive normale.

Les radiations ne provoquent donc pas d'abaissement de la différence de potentiel explosive, même dans le cas d'une charge brusque.

D'une série d'expériences effectuées avec des résistances différentes, il résulte que la différence de potentiel maxima réalisée pendant les oscillations est toujours plus grande que la différence de potentiel explosive normale de quantités dépassant l'ordre de grandeur des erreurs d'expérience.

M. Guthe a étudié le retard à la décharge avec le dispositif décrit ci-dessus par M. Warburg. Il a vérifié, d'accord avec les expériences de M. Warburg, que l'écart entre la différence de potentiel maxima V_{max} obtenue dans les oscillations et la différence de potentiel explosive statique V_0 décroît quand l'amortissement augmente et s'annule quand la charge devient apériodique. Mais on ne remarque pas d'influence directe de la période, même quand elle varie dans de très larges limites, $7{,}01\ 10^{-6}$ à $0{,}30\ 10^{-6}$ seconde.

Ce résultat infirme l'hypothèse de Warburg d'après laquelle cette différence serait due à un léger retard subsistant malgré l'action des rayons ultraviolets. On peut se demander si, en réalité la valeur de la différence de potentiel maxima est bien liée aux conditions expérimentales par

$$V_{max} = V\left(1 + e^{-\frac{T}{2\theta}}\right)$$

où V est la différence de potentiel moyenne, T la période et θ le rapport $\frac{2L}{R}$ du double de l'induction propre à la résistance. Il est aisé de voir que les conditions que suppose réalisées cette formule, ne le sont pas dans l'expérience.

Pour établir cette équation, on suppose en effet qu'au temps $t = 0$, c'est-à-dire au moment où on établit la communication entre les armatures internes des bouteilles C_1 et C_2, la différence de potentiel entre les deux armatures de C_2 est $V_2 = 0$, entre les deux armatures de C_1, $V_1 = V$. En réalité les choses ne se passent pas tout à fait ainsi dans l'expérience. On déclenche un ressort relié d'une manière permanente à l'armature interne de la bouteille C_2 : ce ressort quitte le bloc relié au sol, pour venir toucher le bloc communiquant avec l'armature interne de la bouteille C_1. Mais avant que ce dernier contact soit établi, une étincelle éclate entre le bloc et le ressort : pendant l'intervalle de temps qui s'écoule entre l'explosion de cette étincelle et l'établissement du deuxième contact les oscillations sont produites en totalité ou en partie. Si la grande bouteille ne s'est pas déchargée complètement dans la petite par l'intermédiaire de l'étincelle, la valeur maxima que peut atteindre la différence de potentiel entre les armatures de C_2 est plus petite que la valeur calculée par la formule ci-dessus.

En fait, l'expérience prouve bien que jamais la différence de potentiel entre les armatures de la petite bouteille n'atteint la valeur moyenne cal-

culée par la formule, mais seulement les 0,82 de ce chiffre.

Nos connaissances sur la nature de l'étincelle sont trop peu précises pour qu'il soit possible actuellement de proposer une formule théorique pour remplacer celle de M. Warburg. La formule empirique

$$V' = \alpha e^{-\frac{T}{2\theta}} V_m$$

représente bien la différence $V' = V_m - V_o$. L'équation

$$V_e = V\left(1 - \alpha e^{-\frac{T}{2\theta}}\right)\left(1 + e^{-\frac{T}{2\theta}}\right)$$

donne des valeurs de V_e qui dans tous les cas coïncident avec les différences de potentiel explosives statiques.

La formule empirique traduit aussi le fait que pour une même longueur de l'étincelle, la différence V' ne dépend que de l'amortissement et aussi qu'elle croît avec la longueur de l'étincelle proportionnellement à la différence de potentiel explosive statique. M. Lamotte.

DIVERS

Note sur le potentiel d'un système symétrique, par **T. J. l'A. Bronswich**. *Phil. mag.* t. VI, p. 237, août 1901.

Legendre a montré que si le potentiel d'un système (symétrique autour de l'axe des z) est connu en tous les points de l'axe des z, la valeur de ce potentiel en un point de l'espace peut alors être exprimée en termes harmoniques sphériques. Mais il ne semble pas qu'on ait remarqué que cette méthode peut conduire dans pareils cas à une discontinuité apparente des fonctions potentielles exprimées de cette manière.

Pour éclaircir ce point, considérons le potentiel d'un disque circulaire pour tous les points de l'espace ; c'est là une application classique de la méthode de Legendre qui figure dans tous les traités classiques courants.

D'après Thomson et Tait (*Natural Philosophy*, 1890, art. 546) nous trouvons :

$$V_0 = 2\pi\rho\left(c_1\frac{a^2}{r} + c_2\frac{a^4}{r^3}P_2 + c_3\frac{a^6}{r^5}P_4 + \ldots\right) \ldots (r > a)$$

$$V_1 = 2\pi\rho\left(a - rP_1 + c_1\frac{r^2}{a}P_2 + c_3\frac{r^4}{a^3}P_4 + \ldots\right)$$
$$\left(r < a,\ 0 < \theta < \frac{\pi}{2}\right)$$

ou

$$2\pi\rho\left(a + rP_1 + c_1\frac{r^2}{a}P_2 + c_2\frac{r^4}{a^3}P_4 + \ldots\right)$$
$$\left(r < a,\ \frac{\pi}{2} < \theta < \pi\right)$$

où ρ est la densité superficielle, a le rayon du disque ; l'origine des coordonnées est au centre du disque et le plan de ce dernier coïncide avec le plan des xy. On a en outre,

$$r^2 = x^2 + y^2 + z^2,\ z = r\cos\theta,$$

et P_n désignent les P_n (cos θ) c'est-à-dire les coefficients de Legendre d'ordre n ; c'est ainsi que c_n est le coefficient de x^n dans le développement de $(1+x)^{\frac{1}{2}}$ suivant les puissances de x, de sorte que

$$(1+x)^{\frac{1}{2}} = c_0 + c_1x + c_2x^2 + c_3x^3 + \ldots$$

Dans ce qui suit nous poserons $\cos\theta = \mu$. Revenons à notre fonction potentielle.

Dans le plan du disque ($z = 0$), il est facile de voir que les deux valeurs de V_1 sont continues, mais $\frac{\partial V}{\partial z}$ est *discontinu* : c'est bien là une des propriétés générales du potentiel. Mais, en apparence, au point $r = a$, V_0 n'est pas égal à V_1. Le point que l'auteur veut éclaircir, c'est qu'il n'y a pas de discontinuité dans le potentiel ni dans les coefficients différentiels en un point de l'espace libre. Les formules précédentes nous donnent, pour $r = a$

$$V_0 - V_1 = 2\pi\rho a\,[(c_1 - c_0) + P_1 + (c_2 - c_1)P_2 + \ldots$$
$$+ (c_{n+1} - c_n)P_{2n} + \ldots] \qquad (\mu > 0)$$

ou,

$$2\pi\rho a\,[(c_1 - c_0) - P_1 + (c_2 - c_1)P_2 + \ldots$$
$$+ (c_{n+1} - c_n)P_{2n} + \ldots] \qquad (\mu < 0)$$

On déduit de là, s'il n'y a pas de discontinuité, en se souvenant que $P_1 = \mu$,

$$+\mu = (c_0 - c_1) + (c_1 - c_2)P_2 + \ldots + (c_n - c_{n+1})$$
$$P_{2n} + \ldots (\mu > 0)$$
$$-\mu = (c_0 - c_1) + (c_1 - c_2)P_2 + \ldots + (c_n - c_{n+1})$$
$$P_{2n} + \ldots (\mu < 0).$$

Pour montrer cela, il faut développer $f(\mu)$ en termes de coefficients de Legendre, où $f(\mu) = +\mu$, pour $\mu > 0$ et $f(\mu) = -\mu$, pour $\mu < 0$.

Or, nous savons, avec certaines restrictions sur la nature de $f(\mu)$ du même type que les condi-

tions de Dirichlet pour la série de Fourier, que nous pouvons écrire

$$f(\mu) = \sum_{n=0}^{n=\infty} A_n P_n(\mu),$$

avec

$$A_n = \frac{2n+1}{2} \int_{-1}^{+1} f(\mu) \, P_n(\mu) \, d\mu.$$

Les conditions nécessaires pour le développement étant ici satisfaites, nous avons,

$$A_r = \frac{2r+1}{2} \left[\int_{-1}^{0} (-\mu) \, P_r(\mu) \, d\mu) + \int_{0}^{1} (+\mu) \, P_r(\mu) \, d\mu \right]$$

c'est-à-dire

$$A_r = (2r+1) \int_0^1 \mu P_r(\mu) \, d\mu \qquad (\mu \text{ pair})$$

et

$$A_r = 0 \qquad (\mu \text{ impair})$$

D'autre part,

$$(2r+1) \, \mu P_r(\mu) = (r+1) \, P_{r+1}(\mu) + r P_{r-1}(\mu)$$

et si $r = 2n$,

$$A_{2n} = \int_0^1 [(2n+1) \, P_{2n+1}(\mu) + 2n P_{2n-1}(\mu)] \, d\mu$$

On prouve, en outre, facilement que

$$\int_0^1 d\mu \left[1 + \sum_{n=0}^{n=\infty} h^r P_r(\mu) \right] = \int_0^1 \frac{d\mu}{(1 - 2\mu h + h^2)^{\frac{1}{2}}}$$

$$= \frac{1}{h} \left[(1+h^2)^{\frac{1}{2}} - (1-h) \right] = 1 + \sum_{n=1}^{n=\infty} c_n h^{2n-1}$$

et par suite,

$$\int_0^1 P_{2n-1}(\mu) \, d\mu = c_n.$$

L'expression de A_{2n} devient alors

$$A_{2n} = (2n+1) \, c_{n+1} + 2n c_n.$$

Or, d'après la définition même de c,

$$\frac{c_{n+1}}{c_n} = \frac{\frac{1}{2} - n}{n+1} = -\frac{2n-1}{2(n+1)};$$

donc,

$$A_{2n} = (c_n - c_{n+1}) + [(2n-1) \, c_n + 2(n+1) \, c_{n+1}]$$
$$= c_n - c_{n+1}$$

Et on a alors pour A_0 :

$$A_0 = \frac{1}{2} \int_{-1}^{1} f(\mu) \, d\mu = \int_0^1 \mu d\mu = \frac{1}{2} = c_0 - c_1.$$

Il résulte donc de là que l'expression

$$(c_0 - c_1) + (c_1 - c_2) \, P_2 + \ldots + (P_n - P_{n+1}) \, P_{2n} + \ldots$$

a pour valeur $+\mu$ si $\mu > 0$, et $-\mu$ si $\mu < 0$.

On a donc bien $V_1 = V_0$ aux points où $r = a$.

Considérons encore la valeur de $\left(\frac{\partial V_1}{\partial r} - \frac{\partial V_0}{\partial r}\right)$ aux points $r = a$. Elle doit y être nulle puisqu'il n'y a pas de densité superficielle sur la sphère, sa valeur est

$$2\pi\rho \, [-\mu + c_1 + (2c_1 + 3c_2) \, P_2 + \ldots + \{ 2nc_n + (2n+1) \, c_{n+1} \} \, P_{2n} + \ldots] \qquad (\mu > 0)$$

ou

$$2\pi\rho \, [+\mu + c_1 + (2c_1 + 3c_2) \, P_2 + \ldots + \{ 2c_n + (2n+1) \, c_{n+1} \} \, P_{2n} + \ldots] \qquad (\mu < 0)$$

chacune de ces expressions s'évanouissent d'après la valeur de A_{2n} trouvée plus haut. Donc

$$\frac{\partial V_1}{\partial r} = \frac{\partial V_0}{\partial r} \text{ aux points } r = a,$$

d'autre part V_1 et V_0 satisfont à la même équation différentielle de Laplace :

$$\frac{\partial}{\partial r}\left(r^2 \frac{\partial V}{\partial r}\right) + \frac{1}{\sin\theta} \frac{\partial}{\partial t}\left(\sin\theta \frac{\partial V}{\partial \theta}\right) = 0$$

et aux points où $r = a$, on a :

$$V_0 = V_1, \quad \text{et} \quad \frac{\partial V_0}{\partial r} = \frac{\partial V_1}{\partial r},$$

pour toutes les valeurs de θ comprises entre 0 et π. *Il résulte donc de là que* V^0 *est le prolongement analytique de* V_1 *au delà de la sphère* $r = a$ *et que par conséquent la discontinuité* $r = a$ *n'est qu'apparente.*

On rencontre la même difficulté dans le cas du potentiel magnétique d'une bobine circulaire traversée par un courant. L'expression de ce potentiel est donnée dans le même article, cité au commencement de cette analyse, de Thomson et Tait.

E. Néculcéa.

Le Gérant : C. NAUD.

Tome XXIX. **Samedi 26 Octobre 1901.** **8e Année. — N° 43.**

L'Éclairage Électrique

REVUE HEBDOMADAIRE DES TRANSFORMATIONS

Électriques — Mécaniques — Thermiques

DE

L'ÉNERGIE

NOTE SUR LES PROPRIÉTÉS DES ANNEAUX A COLLECTEUR

Depuis quelque temps, nous entendons affirmer, de divers côtés, l'existence de propriétés nouvelles des anneaux à collecteur, qui auraient une grande importance industrielle (1).

1° Il serait possible de faire engendrer un flux magnétique par un de ces anneaux, en y envoyant des courants alternatifs de fréquence quelconque ω, par l'intermédiaire de balais appuyés sur le collecteur, *sans avoir à surmonter d'autre impédance que celle due à la résistance des circuits* : à la seule condition de communiquer aux balais, par rapport au collecteur, dans un sens convenable, une vitesse relative égale à ω.

2° Si cette vitesse relative était égale à ω — U, l'impédance que l'on aurait à surmonter serait la même que si, cette vitesse relative étant nulle, on envoyait dans l'anneau, par l'intermédiaire des balais, des courants de fréquence U.

Nous croyons pouvoir résumer, de la manière suivante, les raisonnements sur lesquels on s'appuie pour affirmer l'existence de ces propriétés.

Considérons, pour fixer les idées, un anneau du genre Gramme A (voir fig. 1) divisé en en N sections et muni d'un collecteur C à N touches [N = 12 sur la figure]. Autour du collecteur sont disposés k balais $b_1\, b_2 \ldots b_k$ à $\frac{2\pi^0}{k}$ les uns des autres [$k = 3$ sur la figure 1].

L'anneau est fixe, mais on peut faire tourner les balais autour du collecteur.

Envoyons k courants, de fréquence ω, de même intensité efficace, mais successivement décalés de $\frac{1}{k}$ période, à travers ces balais : ils engendreront un flux dont l'intensité pourra

(1) Voir en particulier l'article de M. Heyland, publié ci-après (N. d. l. R.).

être considérée comme constante, si le nombre k est assez grand, et qui tournera avec la vitesse ω *par rapport aux balais*.

Faisons tourner, maintenant, les balais $b_1, b_2 \ldots, b_k$ avec la vitesse — ω, soit en sens inverse du flux. Celui-ci, étant animé de deux vitesses égales et de signes contraires, sera fixe dans l'espace. Les diverses sections de l'anneau ne seront le siège d'aucune variation de flux, donc : pour y faire passer des courants de fréquence ω, il suffira de surmonter leur résistance.

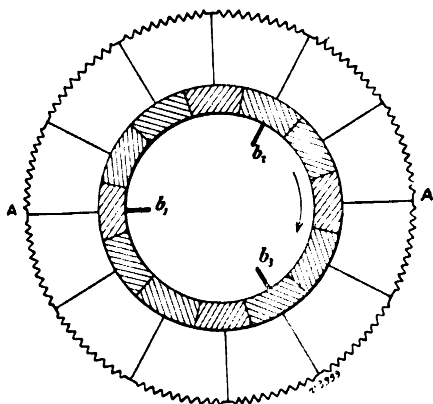


Fig. 1.

Si, au lieu de faire tourner les balais avec la vitesse ω, nous les faisions tourner avec la vitesse ω — U, le flux se déplacerait dans l'espace avec la vitesse U. La fréquence des variations de flux dans les diverses sections de l'anneau serait égale à U. Donc, pour faire passer les courants de fréquence ω à travers l'anneau, nous n'aurions à surmonter que l'impédance qu'auraient ses circuits, si les balais demeuraient fixes et si on les faisait traverser par des courants de fréquence U.

Nous ne croyons pas que ces propriétés aient jamais été constatées et les raisonnements qui précèdent nous paraissent inexacts.

Ils supposent, en effet, que la direction du flux engendré par l'anneau demeure rigoureusement fixe ou se déplace avec une vitesse constante, tandis qu'elle oscille constamment autour d'une position moyenne. Tant que les balais s'appuient sur les mêmes touches du collecteur, les points d'entrée du courant dans l'anneau demeurant fixes, la direction du flux se déplace en sens inverse du mouvement des balais. Toutes les sections de l'anneau sont alors le siège des mêmes forces électromotrices que si les balais ne tournaient pas. Quand les balais viennent à s'appuyer sur de nouvelles touches, la direction du flux subit un décalage brusque, dans le sens du mouvement des balais, mais la somme des forces électromotrices développées dans tout circuit de l'anneau compris entre deux balais consécutifs est nulle, les choses se passant comme si ce circuit était aussi déplacé, dans le sens du mouvement des balais, en même temps que le flux et de la même quantité que lui.

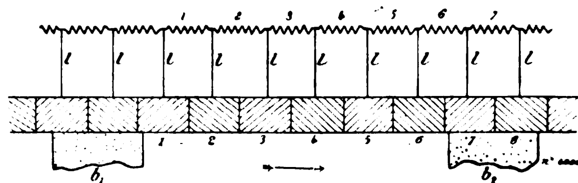


Fig. 2.

Il est facile de s'en rendre compte.

Considérons une portion développée de l'anneau et de son collecteur [voir figure (2)] et deux balais consécutifs b_1 et b_2.

Nous supposons, pour fixer les idées, que la distance comprise entre les deux balais soit égale à un multiple exact de la largeur d'une touche du collecteur [on a supposé ce multiple égal à 6 sur la figure 2], que les balais soient exactement décalés d'un angle égal à $\frac{2\pi}{k}$ et que le nombre N de sections de l'anneau soit un multiple exact du nombre de balais k. A l'époque t_1, les balais occupent les positions indiquées sur la figure 2.

Nous supposons enfin que les balais se déplacent d'une manière continue, dans le sens de la flèche, avec la vitesse (ω — U).

I. Phénomènes dont l'anneau est le siège pendant que les balais b_1 et b_2 continuent a s'appuyer sur les mêmes touches du collecteur. — Ces balais tournant avec la vitesse

$\omega - U$, demeurent en contact avec les touches 1 et 7 (voir fig. 2) pendant un temps égal à $\frac{2\pi}{N} \frac{1}{\omega - U}$.

Pendant ce temps, le courant qui va du balai b_1 au balai b_2 traverse les sections 1, 2, 3, 4, 5 et 6.

Ce courant produit une force magnétisante qui, jointe à celles produites par les courants des sections comprises entre les autres balais, tend à engendrer un flux tournant, par rapport à l'anneau, avec la vitesse ω, en sens inverse du mouvement des balais.

Ce flux se déplace à travers les sections de l'anneau mises en court-circuit par les balais. Ces sections régulièrement disposées autour de lui deviennent le siège de courants régulièrement décalés. La différence de phase entre les courants de deux sections en court-circuit situées à $\frac{2\pi^o}{k}$ l'une de l'autre, est nécessairement la même que celle des courants de deux sections en circuit situées aussi à $\frac{2\pi^o}{k}$ l'une de l'autre, les angles étant comptés dans le même sens.

On peut considérer les sections en circuit comme les circuits primaires d'un transformateur à courants polyphasés, dont les circuits secondaires, constitués par les sections en court-circuit, sont fermés sur des résistances constituées par les lames ll... [voir figure (2)] qui relient les points d'entrée des sections de l'anneau aux touches du collecteur.

Si ces résistances sont petites, les sections en court-circuit sont le siège de forts courants qui produisent une force magnétisante sensiblement égale et de signe contraire à celle produite par les sections en circuit et l'anneau ne peut produire aucun flux appréciable.

Il convient donc que ces résistances soient grandes par rapport à la résistance réelle d'une section. Dans ces conditions, on peut faire produire un flux de grande intensité par l'anneau, tout en rendant petite l'intensité des courants dans les sections en court-circuit.

Il doit être bien compris que les courants, dans ces sections, ne peuvent que diminuer l'intensité du flux développé par l'anneau et amener une consommation inutile d'énergie.

Donc entre les époques t_1 et $t_1 + \frac{2\pi}{N} \frac{1}{\omega - U}$:

1° Les forces électromotrices développées entre les balais sont les mêmes que celles développées entre les prises de courant des circuits primaires d'un transformateur à courants polyphasés, dont les circuits secondaires seraient fermés sur des résistances. Si ces résistances sont très grandes, par rapport à celles des circuits secondaires, ce qui doit toujours être réalisé, les forces électromotrices développées entre les balais sont déwattées par rapport aux courants qui vont d'un balai à l'autre.

2° Les impédances qu'ont à surmonter ces forces électromotrices sont indépendantes de la vitesse de rotation des balais, puisque la fréquence des courants, dans les sections de l'anneau, est toujours égale à ω, pendant le temps considéré.

II. Phénomènes dus a la commutation. — A l'époque $t_1 + \frac{2\pi}{N} \frac{1}{\omega - U}$, le balai b_1 vient au contact de la touche 2 du collecteur et le balai b_2 abandonne le contact de la touche 7.

La section 1 est mise en court-circuit et la section 7 est remise en circuit.

La suppression du courant dans la bobine 1 et son rétablissement dans la section 7 ont pour effet de déplacer brusquement le flux d'un angle égal à $\frac{2\pi}{N}$, dans le sens du mouvement des balais, à partir de la position qu'il occupait en dernier lieu.

Mais, en même temps, dans le circuit compris entre les balais b_1 et b_2, la section 2 a pris la place de la section 1, la section 3 celle de la section 2...

La direction du flux, est la même, par rapport au circuit considéré, après comme avant la commutation.

L'énergie potentielle de ce circuit est la même avant, comme après la commutation.

Les choses se passent donc comme si ce circuit se déplaçait d'un angle égal à $\frac{2\pi}{N}$, en même temps que le flux et dans le même sens.

Nous pouvons dire encore : Le flux tourne avec une vitesse uniforme égale à ω, par rapport aux circuits de l'anneau, mais on imprime à ceux-ci un mouvement saccadé, de vitesse moyenne égale à $\omega - U$, et de sens inverse à celle du flux.

Mais, en supprimant le courant dans la section 1 et dans les sections correspondantes des autres circuits de l'anneau, nous avons perdu l'énergie intrinsèque de ces sections et récupéré seulement leur énergie relative aux sections demeurées en circuit. En rétablissant le courant dans la section 7 et dans les sections correspondantes, nous avons dû leur fournir leur énergie intrinsèque et leur énergie relative aux sections demeurées en circuit.

Ces énergies relatives étant évidemment les mêmes, nous n'avons eu en définitive qu'à fournir l'énergie intrinsèque des diverses sections remises en circuit.

Les forces électromotrices qu'il a fallu développer, pour cela, entre les balais étaient nécessairement des forces électromotrices wattées, puisqu'elles prenaient de l'énergie au courant, tandis que les forces électromotrices dues au déplacement du flux en sens inverse des balais, étaient des forces électromotrices déwattées, comme nous l'avons vu plus haut.

D'autre part, nous savons que l'énergie intrinsèque d'une section d'un anneau recouvert d'un nombre de spires déterminé est inversement proportionnelle au carré du nombre N de sections de cet anneau, si bien que la perte d'énergie par seconde due à la commutation est inversement proportionnelle au nombre N.

Nous pouvons donc la rendre négligeable en augmentant le sectionnement de l'anneau ; nous rendons en même temps négligeables les forces électromotrices wattées produites par la commutation.

III. Conclusion. — Pendant que les balais s'appuient sur les mêmes touches du collecteur, nous pouvons considérer les circuits de l'anneau compris entre eux, comme les circuits primaires d'un transformateur à courants polyphasés dont les circuits secondaires, constitués par les bobines en court-circuit, seraient fermés sur des résistances.

La commutation n'a d'autre effet que de substituer périodiquement à ce transformateur un autre transformateur identique, mais cette substitution ne détermine la production d'aucune force électromotrice appréciable entre les balais qui servent de prises de courant.

Donc nous pouvons dire :

Si nous envoyons K courants alternatifs polyphasés dans un anneau à collecteur, par l'intermédiaire de K balais successivement décalés d'angles égaux à $\frac{2\pi}{K}$, les forces électromotrices qu'il faut développer entre les divers balais, pour déterminer le passage des courants, sont les mêmes, que les balais demeurent fixes ou qu'ils tournent, par rapport au collecteur.

On peut néanmoins mettre à profit les propriétés de ces anneaux, dans les machines à courants alternatifs, pour leur faire produire des flux inducteurs capables de tourner par rapport à eux, sans que les courants qui devront traverser leurs circuits aient à surmonter d'autre impédance que celle due à la résistance de ces circuits. Mais il faut s'y prendre autrement.

Nous rappellerons, à ce sujet, un système que nous avons imaginé jadis et qui a fait

l'objet d'une note parue dans les comptes rendus de la séance de l'Académie des sciences du 29 juillet 1889, que nous reproduisons ci-dessous (1).

Maurice LEBLANC.

MOTEUR OU GÉNÉRATRICE ASYNCHRONE SANS DÉPHASAGE

L'objet de cet article est de décrire un dispositif simple ayant pour résultat intéressant d'annuler le *déphasage* entre le courant et la tension, dans les moteurs asynchrones, et de faire disparaître toutes les conséquences connues produites par l'*entrefer* entre le stator et le rotor.

---

(1) « Les courants alternatifs seraient très avantageux pour transporter la force, car on peut leur donner facilement les plus hautes tensions et ils n'altèrent pas les isolants comme les courants continus, mais les phénomènes de self-induction ont empêché jusqu'ici de réaliser un moteur capable de se mettre en marche de lui-même et de tourner à une vitesse quelconque, tout en ayant un bon rendement et en utilisant bien les matériaux qui entrent dans la construction du système. Nous pensons avoir rempli ces diverses conditions de la manière suivante :

» Notre moteur comporte : 1° une armature *fixe*, en forme d'anneau ; 2° un inducteur *mobile*, constitué lui-même par un anneau Gramme ou Paccinotti situé à l'intérieur de l'armature et muni de son collecteur ; 3° une petite dynamo à courants alternatifs et à aimants permanents, dont l'armature est folle sur l'axe de la machine. Celle-ci, montée en tension dans le circuit de la première armature, reçoit comme elle le courant de la ligne et tourne synchroniquement avec la génératrice. Elle a pour fonction de faire tourner un certain nombre de paires de balais s'appuyant sur le collecteur de l'anneau mobile. Le nombre de ces balais est égal au nombre des pôles inducteurs qu'on veut créer, et proportionnel au nombre d'alternativités du courant qui doit alimenter la machine. Ils sont tous reliés entre eux par un court circuit.

» La théorie et l'expérience nous ont démontré que, dans ces conditions :

» 1° Un courant toujours de même sens se développe dans l'anneau mobile et se ferme, à travers les balais, après avoir excité les pôles inducteurs.

» 2° Un couple moteur toujours de même sens, fonction seulement de l'intensité du courant alternatif lancé dans l'armature et de la vitesse relative des balais par rapport au collecteur, est déterminé sur l'axe de l'anneau. (La machine se lance d'elle-même et tourne toujours dans le même sens que les balais. Le couple moteur développé sur son axe diminue au fur et à mesure que la vitesse augmente.. Quant au travail fourni, il est maximum lorsque la vitesse de rotation de la machine est égale à la moitié de celle des balais.)

» L'anneau qui nous a servi dans ces expériences provenait d'une machine Rechniewski. On avait rendu ses porte-balais mobiles et une disposition cinématique les obligeait à faire une demi-révolution pendant la durée d'une alternativité du courant lancé dans l'armature.

» La théorie démontre que le rendement électrique de cette machine peut être aussi élevé que l'on veut, et que le rapport de la force électromotrice nécessaire pour faire passer le courant alternatif dans l'armature à celle qui le serait s'il n'y avait pas de phénomènes de self-induction est très voisin de l'unité.

» Cela provient de ce que le courant n'est pas renversé à la fois dans tout le système inducteur, mais successivement dans les diverses bobines qui entourent l'anneau, et au moment où chacune d'elles n'est traversée que par le petit flux qu'elle engendre elle-même. Les choses se passent comme si le coefficient de self-induction de la machine se réduisait au seul coefficient de self-induction de l'armature, et l'accroissement de force électromotrice nécessaire pour faire passer le courant alternatif est très petit par rapport à celui qu'entraîne la production du travail.

» Nous pensons constituer de cette manière un moteur à courants alternatifs qui, tout en permettant de profiter des avantages qui résultent de l'emploi de ces courants, ait un rendement aussi élevé, et utilise aussi bien les matériaux que les moteurs à courants continus ordinaires.

» Nous n'avons fait d'ailleurs qu'appliquer l'invention de M. Gramme et combattre les effets de la self-induction dans le cas actuel, en employant l'anneau muni d'un collecteur qui lui avait servi à vaincre les mêmes effets dans les moteurs à courants redressés.

» Le type de machine auquel nous avons été conduits, et qui peut recevoir une infinité de formes différentes, ne nécessite pas un organe de plus que toutes les dynamos à courants alternatifs, munies d'une excitatrice spéciale, qui sont journellement employées dans l'industrie. »

Ce résultat est obtenu par la production directe du champ dans l'*induit* au lieu de l'inducteur, comme cela s'est fait en général jusqu'ici [1].

Les courants nécessaires à l'excitation sont fournis par un dispositif très simple qui peut être appliqué à chaque type de moteur sans grande difficulté. En principe, le dispositif peut être présenté de la façon suivante :

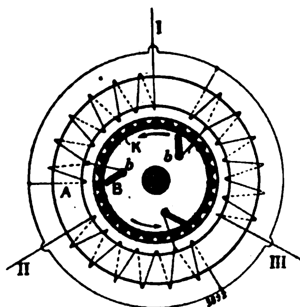


Fig. 1.

Considérons (fig. 1) un moteur d'induction triphasé avec induit en court-circuit simple, du type appelé à cage d'écureuil. A est le stator ou l'inducteur du moteur et B le rotor ou l'induit en court-circuit. Les barres de cuivre placées autour de l'induit dans des rainures appropriées sont mises en court-circuit de chaque côté par un anneau K.

Si des courants triphasés sont envoyés par les trois bornes I, II, III, dans l'inducteur A, ils y donneront naissance à un champ tournant qui traversera l'inducteur et l'induit et produira un couple entre ces deux parties.

Le champ provient ici du stator (à l'opposé de ce qui se passerait dans le moteur synchrone qu'on obtiendrait si par exemple on remplaçait l'induit par un électro-aimant à deux pôles). Les courants d'excitation du stator, qui créent le champ tournant, sont des courants alternatifs de même fréquence que les courants de travail et par conséquent sont des courants déwattés correspondant à une puissance apparente relativement très grande.

Si les courants d'excitation étaient de simples courants continus, ou même des courants alternatifs à basse fréquence, la puissance nécessaire à l'excitation serait définie par les pertes ohmiques. Mais, comme on le sait, dans les circuits traversés par des courants de fréquence assez grande, il se produit une force contre-électromotrice, dite de self-induction, et le courant magnétisant est donné par la tension résultante, toujours très faible, différence géométrique entre la tension aux bornes et la force électromotrice de self-induction. Ceci a en outre pour conséquence le grand déphasage connu entre le courant et la tension. Cependant les pertes réelles dans le cuivre dues à ces courants sont très minimes et leur valeur est ordinairement au-dessous de 1 p. 100 de leur valeur *apparente*.

Tout ceci serait évité si l'on produisait le champ tournant directement dans le *rotor* en court-circuit au lieu de le produire dans le stator.

Dans le rotor ou induit B, en effet, cette force contre-électromotrice de self-induction n'existe pas ou du moins elle n'a qu'une valeur minime. La fréquence du champ dans l'induit est très petite ; elle est, avec la fréquence des courants d'alimentation, dans un rapport égal au glissement du rotor. Comme on le sait, l'induit tourne avec le champ tournant, sa vitesse ne diffère de celle du champ que d'une quantité très faible, le glissement, qui doit suffire à la production des courants nécessaires dans l'induit à court-circuit. A l'opposé de la grande force électromotrice de self-induction du stator, celle du rotor est *très petite* et la tension induite est par suite celle qui est juste nécessaire pour produire les pertes ohmiques dues aux courants dans l'induit. Par suite, si, au lieu de fournir à l'inducteur les courants de magnétisation nécessaires pour exciter le champ tournant, nous les envoyons dans l'induit, avec la fréquence convenable, nous éviterons ainsi la production de la force contre-électromotrice qui nous gêne dans le stator.

[1] Un dispositif pour compenser le décalage des phases a été imaginé par M. M. Leblanc. Celui-ci emploie un moteur auxiliaire dans l'induit et mis par les bagues de contact en circuit avec l'induit du moteur ; mais, comme il y a lieu d'ajouter un moteur auxiliaire, ce procédé est assez compliqué.

Toute la tension requise pour les courants de magnétisation se réduirait alors à la petite force électromotrice nécessaire pour compenser la chute ohmique dans le cuivre. La seule difficulté à surmonter est d'envoyer les courants dans le bobinage de l'induit mis en court-circuit, et ceci de façon à ce qu'ils aient, dans cet induit, la même phase et la même *direction* qu'avaient précédemment les courants de magnétisation dans le stator.

On y arrive de la manière la plus simple, comme l'indique schématiquement la figure 1 : par trois *balais bbb* qui glissent sur l'*anneau* K de l'induit et dont la position vis-à-vis du stator est *telle* que les courants amenés de cette façon auront la même direction dans le rotor qu'avaient auparavant les courants de magnétisation dans le stator. La tension de ces courants ne doit être que très minime (même en supposant que le nombre des bobines soit le même sur le stator et sur le rotor); elle peut donc être empruntée à quelques bobines du stator seulement.

En opérant ainsi, on transforme en somme les courants de fréquence normale (inducteur) en courant de basse fréquence (induit), mais, pour cette transformation, nous n'avons pas besoin d'un commutateur dans le vrai sens du mot. La transformation peut en effet s'opérer au moyen d'un anneau *fermé*, comme cela se présente sur le schéma. En général, on ne fera pas usage à cet effet d'un induit dit à cage d'écureuil, par suite de la trop grande intensité des courants qui en résulterait sous les balais, mais on pourrait par exemple fermer un induit bobiné à la façon ordinaire sur un anneau dont la résistance sera dans un certain rapport avec celle du bobinage.

Ceci n'a aucune importance en ce qui concerne le rendement. D'abord les pertes dans cet anneau ne doivent être que très petites, ensuite on peut diminuer les pertes dans le bobinage en augmentant la profondeur des rainures et en plaçant un peu plus de cuivre sur l'induit. L'augmentation de la dispersion des lignes de force qui résulterait de là n'est pas importante, puisque, comme nous l'avons dit, le déphasage du courant se trouve annulé par notre procédé. Du reste, ceci n'est pas nécessaire, comme le prouvera très bien l'exemple ci-après.

Extérieurement, la partie la plus *caractéristique* du moteur est l'anneau *fermé* que l'on emploie comme commutateur. Il va évidemment de soi qu'un pareil commutateur perd tous ses caractères compliqués et *évite* la formation des étincelles de la même façon que les *bagues* collectrices ordinaires des moteurs asynchrones. On pourrait objecter qu'une partie du courant d'excitation est *perdu* dans l'anneau représentant pour celui-ci un circuit en dérivation avec le bobinage. Ceci est vrai, mais il faut ajouter que par notre procédé, le courant d'excitation se trouve être déjà tellement *réduit* que les pertes n'ont *aucune importance*.

Supposons que la perte normale dans le cuivre de l'induit soit 3 p. 100, 2 p. 100 dans le bobinage et 1 p. 100 dans l'anneau. La résistance de l'anneau serait donc la moitié de celle du bobinage. Le courant de magnétisation est en général égal au tiers du courant en charge. Par conséquent, la perte due aux courants d'excitation s'élèverait au neuvième de la perte totale dans le cuivre, c'est-à-dire à 2/9 p. 100 dans le bobinage. Ajoutons les 4/9 p. 100 auxquels s'élève la perte dans l'anneau mis en parallèle au bobinage, et nous arriverons ainsi en tout et pour tout à 6/9 p. 100 = 2/3 p. 100 de perte de magnétisation. Comme on le voit, ce résultat se trouve être tellement minime qu'il n'a *aucune* importance, malgré la perte éprouvée dans l'anneau de court-circuit.

Une certaine analogie existe pour les machines à courants continus où l'on remplace les balais en cuivre par des balais en charbon. Dans ce cas aussi, les pertes d'une partie sont artificiellement augmentées par les résistances plus grandes des balais en charbon et ordi-

***

nairement en de plus fortes proportions que celles que nous venons d'établir. Malgré cela, on les adopte volontiers et leur emploi est de beaucoup compensé par d'autres avantages.

Il est aussi très avantageux, en pratique, d'employer, au lieu d'un seul anneau en métal d'une certaine résistance, un collecteur ordinaire dont les *lames* se trouvent réunies entre elles par des conducteurs de résistance appréciable. En principe, cela ne change rien, et la formation des étincelles aux balais est également *évitée* par les shunts que présentent les connexions entre les segments.

Enfin, on peut aussi placer sur l'induit, en même temps qu'un bobinage en court-circuit, un deuxième bobinage avec collecteur auquel on amène les courants de magnétisation. La self-induction du bobinage avec collecteur serait en effet annulée par le bobinage en court-circuit et la formation des étincelles au balai serait également évitée.

Pour les moteurs dont les circuits d'induit aboutissent à des bagues collectrices, en vue de leur démarrage, on devra évidemment placer l'anneau K au point neutre des trois phases.

Le fonctionnement du moteur peut être expliqué de la manière suivante :

La position momentanée et la rotation synchrone du champ par rapport à l'inducteur est fixée par la position des balais (voir figure) ; elle est *indépendante* de la vitesse de l'induit. Les courants amenés par les balais produisent dans ce dernier un champ tournant. Supposons que l'induit tourne à vide à la vitesse du synchronisme. Le champ dans l'induit sera fixé et le courant complètement transformé en *courant continu*. L'induit étant chargé, le champ dans l'induit *tournera* lentement, il glissera et produira dans les bobines fermées de l'induit des courants de *travail* qui tendront à maintenir la vitesse. Les courants amenés par les *balais* produisent le *champ* dans *chaque* position et les courants de travail produits par le glissement tendent à retenir le rotor. Ils transfèrent ainsi le travail de l'inducteur dans l'induit. Les mêmes courants de *travail* dits *wattés* qui circulent dans l'induit existent aussi dans l'inducteur, mais en sens *inverse* naturellement, et les courants de magnétisation sont *annulés* dans ce dernier.

Pour annuler exactement le décalage des phases, il est évident que le courant amené aux balais doit être *réglé*, ce qui s'obtient par des résistances qu'on place en avant des balais. On peut aussi dépasser cette excitation, correspondant à $\cos \varphi = 1$, et produire par surexcitation une *avance* de phase, comme on le fait dans les moteurs synchrones.

Il est à peine nécessaire de faire remarquer le grand avantage que présente, pour les *moteurs*, la compensation du *décalage* des phases. Ce décalage constitue le défaut bien connu des moteurs asynchrones, si parfaits pourtant en tous autres points ; il ne permet ordinairement pas d'employer directement ces moteurs dans des réseaux d'*éclairage*. Dans les installations de transports d'énergie, il a pour effet d'introduire en dehors de la marche en pleine charge des courants *déwattés* qui *surpassent* souvent en grandeur les courants de travail. En admettant même que le $\cos \varphi$ atteigne la valeur 0,7, les courants déwattés sont *proportionnels* à $\sin \varphi$ et ont encore la même intensité que les courants de *travail* proprement dits. Pour un moteur *en pleine* charge, dont le $\cos \varphi$ serait égal à 0,9, l'intensité des courants déwattés atteint encore la *moitié* de celle du courant de travail. Ces derniers résultats ne sont obtenus d'ailleurs que par l'emploi d'un *entrefer minime*, comme on a coutume de le faire pour ce genre de moteurs, alors que, pour des raisons mécaniques et pour la sécurité de la marche, il serait préférable d'employer des entrefers plus grands, ainsi qu'on le fait, par exemple, pour les moteurs à courants continus.

Enfin, le moteur peut fonctionner également comme *génératrice* et produire des courants polyphasés indépendants des autres génératrices. De cette manière, il crée lui-même

son champ magnétique comme une machine à courant continu et n'a besoin d'aucune excitatrice. La fréquence des courants d'une semblable génératrice n'est pas (comme pour les génératrices ordinaires) absolument définie par le nombre de tours de la machine, mais se trouve réduite, suivant la charge plus ou moins grande, même pour une vitesse constante du rotor. Son nombre de tours et son nombre de périodes sont *asynchrones* et, à l'opposé des génératrices ordinaires, elle peut être mise en *parallèle* avec une autre génératrice *sans* que les deux tournent rigoureusement en *synchronisme*. La mise en parallèle et la marche de ces génératrices s'opèrent aussi simplement que celles des machines à courant continu. Toutes les difficultés relatives à la marche en parallèle produites par les degrés d'*irrégularités* de la machine motrice ou par des moteurs à *gaz*, disparaissent pour ces machines à courants alternatifs. Ce procédé est tout spécialement recommandable pour la construction de grandes machines à faible vitesse avec *accouplement direct* à *machines à vapeur*, et dont l'influence du degré d'irrégularité est très connue par suite des grandes difficultés que présente la marche en parallèle et les lourds volants qu'elle exige afin de les éviter.

Il est probable que l'emploi de notre dispositif donnera d'autres résultats intéressants. Des génératrices de ce genre pourront être, par un semblable procédé, aussi facilement compoundées que des machines à courants continus pour tension constante et charge variable et aussi pour des décalages variables dans le réseau. Pour le moment, différents moteurs d'essais sont en fabrication en Allemagne, à l'Allgemeine Electricitæts Gesellschaft et chez MM. Siemens et Halske, et je pense pouvoir, prochainement, en publier quelques résultats.

A. Heyland,
Ingénieur-Conseil.

ÉCLAIRAGE ÉLECTRIQUE ET TRANSPORT D'ÉNERGIE

DE LA FABRIQUE DE CELLULOSE ET PAPIER FELDMÜHLE A COSEL-ODERHAFEN

La fabrique de cellulose Feldmühle à Cosel avait déjà reçu, en 1892, une installation de lumière et de transport d'énergie, comprenant, en chiffres ronds, 400 lampes à incandescence, 10 lampes à arc et une puissance transmise de 300 chevaux. Les résultats satisfaisants obtenus avec cette installation conduisirent à faire adopter l'éclairage et la force motrice électriques dans une nouvelle fabrique de papier (fig. 1), située à 300 m de la fabrique de cellulose.

Dans cette installation, exécutée comme la précédente par l'Allgemeine Elektricitäts Gesellschaft, on choisit le courant continu pour l'éclairage (système à 3 fils, 2 × 110 volts), pour un chemin de fer électrique (220 volts), tandis que le courant triphasé servait au transport d'énergie.

Station centrale. — Dans la station de la fabrique de papier (fig. 1), on a installé les machines suivantes :

1 génératrice triphasée de 500 kilowatts, à 200 volts, tournant à la vitesse de 215 tours par minute ;

2 dynamos à courant continu de 48 kilowatts chacune, sous 240 volts, tournant à 110 tours par minute ;

1 dynamo à courant continu de 18 kilowatts, et donnant de 65 à 90 volts à 1 050 tours par minute, servant de survolteur ;

1 batterie d'accumulateurs de 132 éléments, d'une capacité de 540 ampères-heure pour un courant maximun de 180 ampères à la charge et à la décharge.

Toutes les machines sont actionnées par une machine à triple expansion de 1 800 chevaux des ateliers de Görlitz avec distribution Collmann.

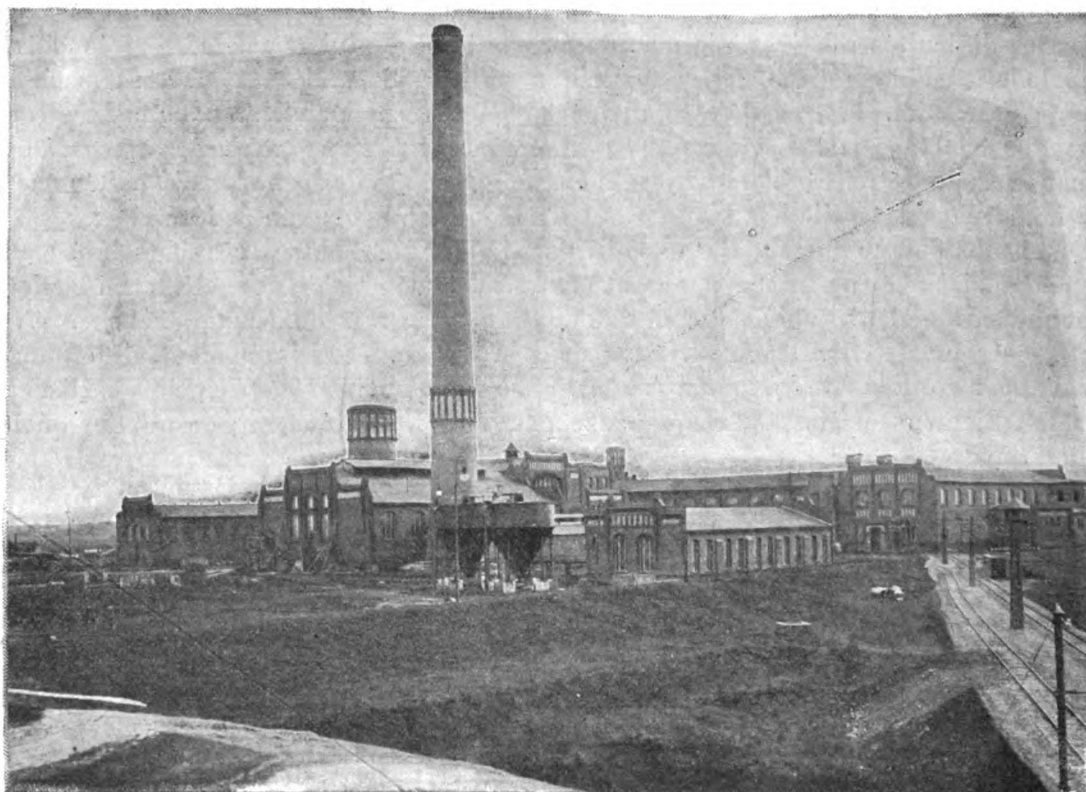


Fig. 1. — Usine de cellulose Feldmühle.

Le tableau de distribution est en marbre (fig. 2) et porte les appareils de réglage et de couplage, ainsi que les instruments de mesure ; tous les fusibles sont réunis sur un tableau spécial en ardoise placé derrière. Les lignes sortent directement de la salle derrière le tableau ; quelques-unes seulement sont souterraines et vont à la batterie d'accumulateurs, puis de là dans les divers locaux de l'usine.

Le schéma de la figure 3 représente le groupement des circuits. Les dynamos à courant continu peuvent alimenter le réseau ensemble ou séparément. La batterie d'accumulateurs est constamment mise en parallèle avec les dynamos par ses conducteurs extrêmes. Elle sert à effectuer le partage de la tension. Le réducteur sert à mettre hors circuit les éléments chargés et à régler la tension sur les deux ponts. Le survolteur sert à élever la tension pour la charge. Des bornes de la batterie partent les conducteurs qui alimentent les lampes restant allumées constamment ; un interrupteur bipolaire permet de les éteindre toutes simultanément. Le réseau du chemin de fer est branché sur les rails principaux au moyen d'un interrupteur bipolaire.

Le service est réglé de la façon suivante : le jour, une dynamo à courant continu couplée en parallèle avec les accumulateurs, fournit le courant nécessaire à l'excitation de l'alternateur et au service du chemin de fer ; la nuit, tant que les locomotives sont en marche, les deux dynamos fonctionnent concurremment avec la batterie. Lorsque le service du chemin de fer est terminé, une seule dynamo suffit pour le reste de la nuit.

En semaine, l'installation fonctionne jour et nuit. La machine à vapeur n'est arrêtée que

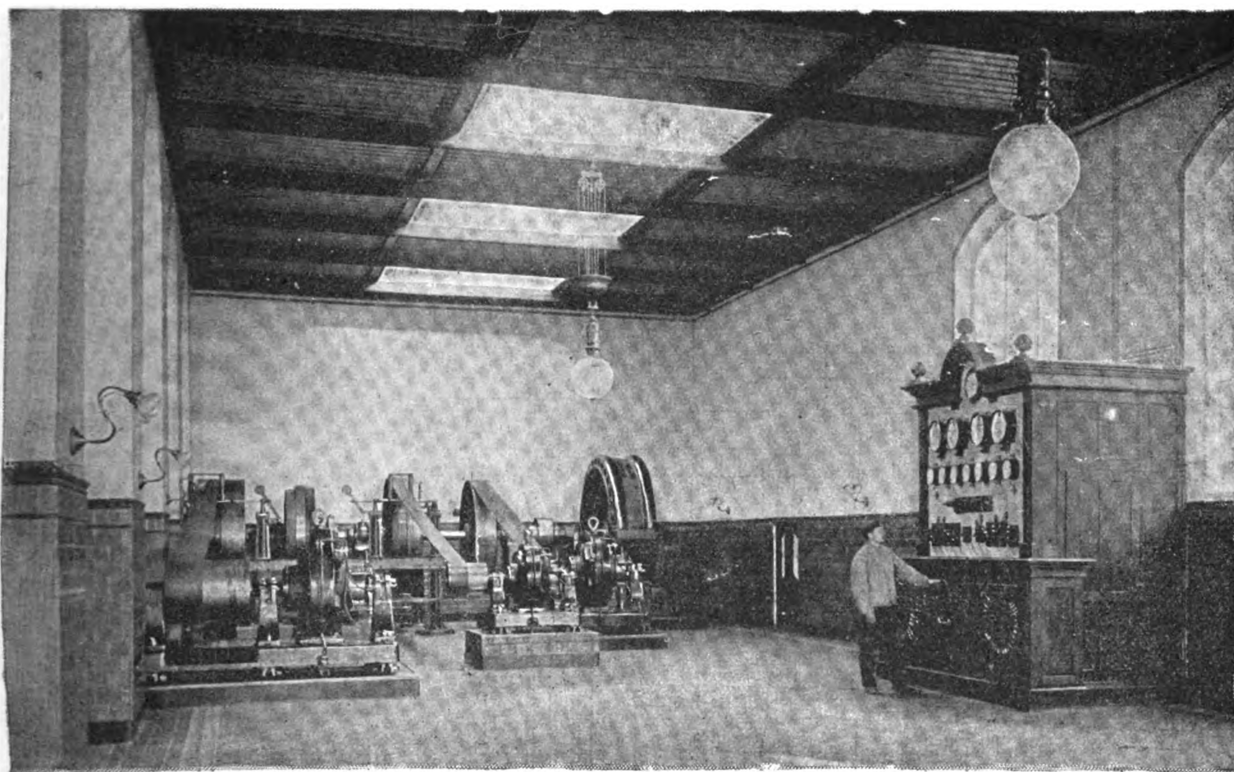


Fig. 2. — Salle des machines.

du dimanche matin à 6 heures, jusqu'au lundi matin à 6 heures. Pendant ce temps la batterie alimente seule les lampes de surveillance et l'éclairage d'une maison d'employés.

Le courant triphasé ne sert qu'au transport de force. L'alternateur travaille donc sans interruption, sauf le dimanche.

L'éclairage comprend 38 lampes à arc et 760 lampes à incandescence.

Station hydraulique. — Cette station est située sur le terrain de l'ancienne fabrique de cellulose, à 340 m de la station centrale et fournit l'eau nécessaire aux deux fabriques. La puissance totale des moteurs électriques de cette station est de 200 chevaux.

Le courant est amené au moyen de 12 lignes de 95 mm² (4 par phase). Trois moteurs triphasés de 30 chevaux installés au premier étage de l'usine actionnent au moyen de courroies des pompes centrifuges disposées au-dessous du niveau du sol (fig. 4.) La pompe actionnée par le premier moteur élève l'eau de l'Oder dans un réservoir, d'où elle est envoyée dans des conduites sans être purifiée. Les deux autres pompes amènent l'eau

Éclairage permanent
Arcs extérieurs
Éclairage intérieur
Courant continu
240 Volts
Dynamo II
Dynamo I
Courant continu
Surolteur
Réducteur double
66 Éléments
66 Éléments
Courant triphasé
A B C D E
Alternateur 500 KW
Rhéostat de champ de l'alternateur

A Station hydraulique 200 Cx
B Salle des calandres 175 Cx
C Machine à papier. 101 Cx
D Salle des chaudières 45 Cx
E Cuisson de la colle. 26 Cx
N Rhéostat en dérivation

Fig. 3. — Schéma du tableau de distribution.

dans des grands bassins visibles à gauche de la figure 4. De là l'eau passe sur des filtres qui la clarifient; puis deux pompes centrifuges d'un débit total de 15 m³ à la seconde, actionnées chacune par un moteur de 60 chevaux, élèvent l'eau dans une tour de 22 m de hauteur. La différence de niveau entre le bassin et la tour est de 18,5 m.

Deux moteurs de 5 chevaux chacun desservent les filtres.

Des commutateurs permettent de brancher tous les moteurs de la station hydraulique soit sur le réseau de la nouvelle usine, soit sur celui de l'ancienne ; il en résulte une très grande sécurité d'exploitation. Les cinq grands moteurs de la station marchent sans interruption à pleine charge. La semaine ils reçoivent, en principe, leur courant de la fabrique de

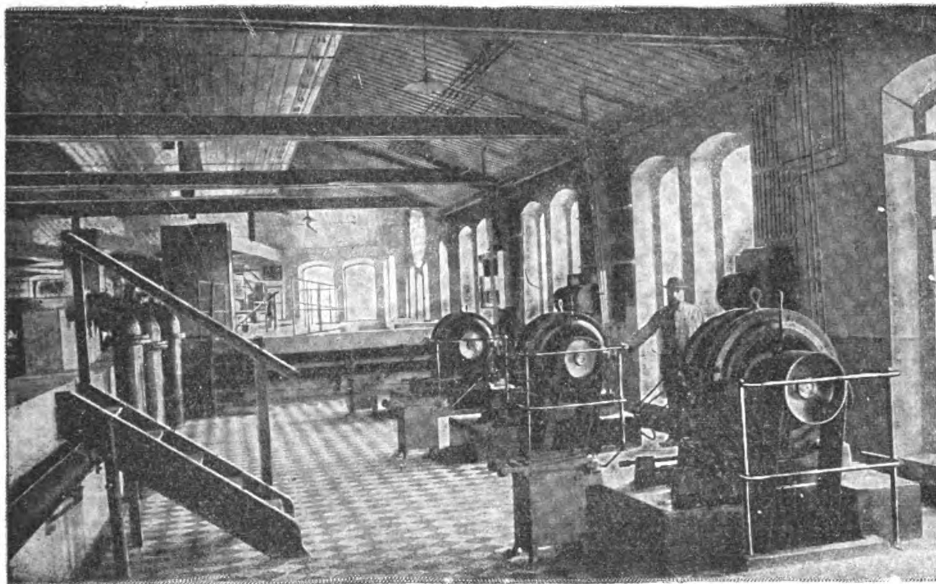


Fig. 4. — Station hydraulique.

papier ; le dimanche ils sont branchés sur la fabrique de cellulose. Par contre, les moteurs de 5 chevaux desservant les filtres ne sont en service que pendant quelques heures.

Fabrique de papier. — Un moteur triphasé de 175 chevaux installé dans un bâtiment spécial sert à la commande des calandres. A cet effet le moteur actionne une transmission qui met en mouvement 4 calandres, trois machines à couper en travers, une machine à couper en travers et en diagonale.

De la même façon, deux moteurs desservant la salle des machines à papier sont disposés dans un local contigu. L'un des moteurs, d'une puissance de 40 chevaux, attaque la transmission à vitesse variable, l'autre, d'une puissance de 20 chevaux, attaque la transmission à vitesse fixe de la machine à papier.

Cette machine produit des papiers glacés d'un côté, jusqu'à 2 500 mm de largeur. L'épaisseur peut en être réglée avec une extrême précision, au moyen de la variation de vitesse des organes variables. A cet effet, une résistance insérée dans le rotor du moteur de 40 chevaux permet de donner à l'induit 35 vitesses différentes depuis la vitesse normale jusqu'au 1/5 de la vitesse (et dans ce dernier cas encore au 1/3 de la charge du moteur).

Non loin de la machine à papier, un moteur de 20 chevaux commande une transmission

qui actionne deux machines à humecter, deux machines à couper les rouleaux, trois pompes hydrauliques et une cisaille à mains.

Pour empêcher la vapeur d'eau de se condenser sur le cylindre sécheur de la machine à papier, on a disposé, à proximité des cylindres, 5 ventilateurs de 2 chevaux chacun, que des moteurs à induit en court-circuit commandent par courroie.

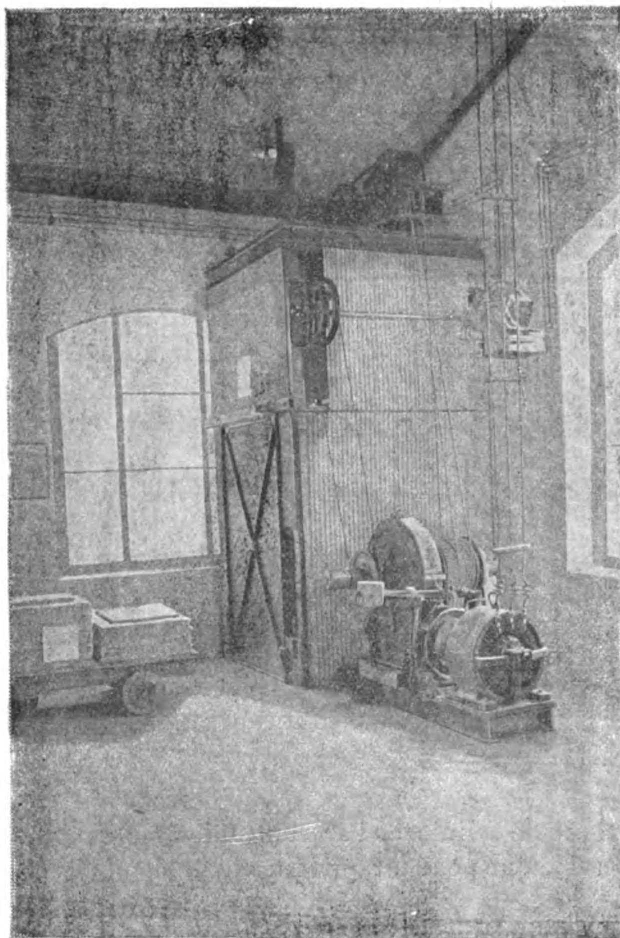


Fig. 5. — Monte-charges.

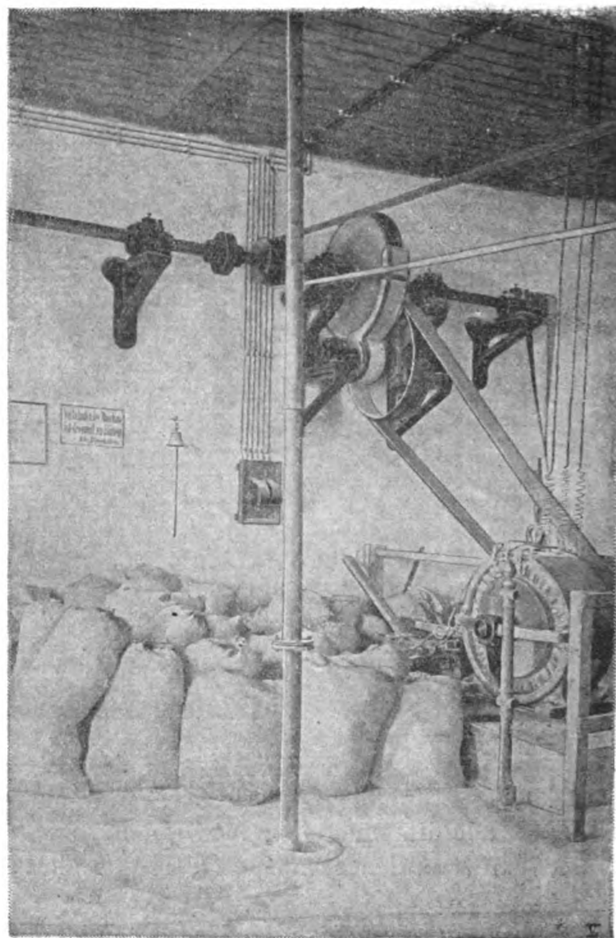


Fig. 6. — Moteur triphasé de 20 chevaux commandant une transmission à marche lente.

Un monte-charge électrique installé près de la machine à papier sert à élever la cellulose nécessaire à la fabrication, et à descendre le papier terminé pour l'amener au chemin de fer électrique. Un deuxième monte-charge (fig. 5) sert à amener le papier coupé à la salle de triage. Les deux monte-charges sont identiques et ont une force de 1 250 kg avec une vitesse moyenne de 0,2 m par seconde, la hauteur de levage est de 6 m. Dans la salle de cuisson de la colle, les machines tournent à très faible vitesse. Un moteur de 20 chevaux actionne les divers engins ; et comme sa vitesse très faible de 475 tours par minute est encore trop élevée, on a disposé un engrenage dans la transmission (fig. 6). Les machines se trouvent soit dans la salle à cuire la colle au deuxième étage, soit dans la salle à broyer les couleurs située au-dessous. Il est rare que les deux installations fonctionnent

en même temps et le moteur est, par suite, peu chargé. Un troisième monte-charge, identique aux deux premiers, sert à la manutention des marchandises.

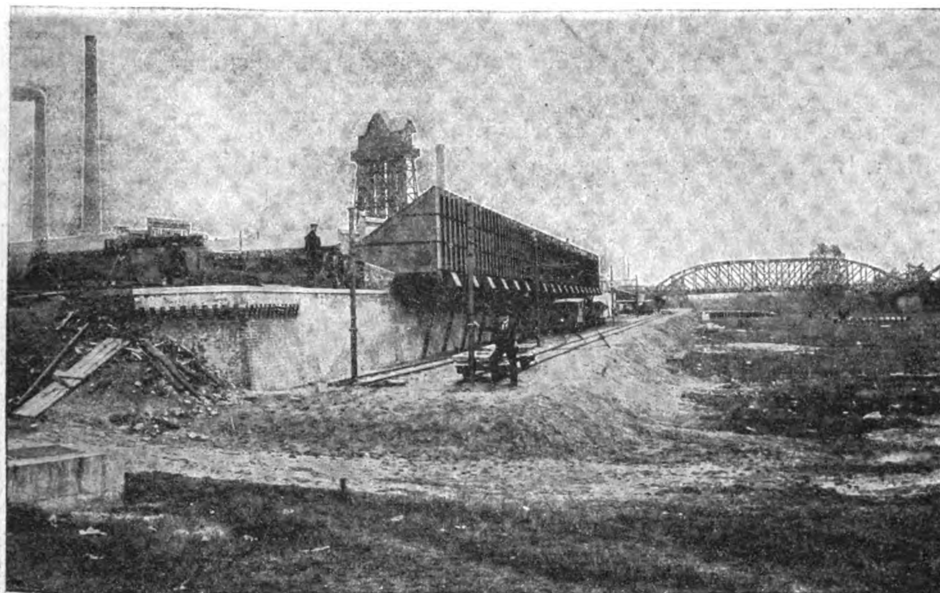


Fig. 7. — Dépôt de charbon.

Chemin de fer électrique. — Un trafic très actif règne entre la fabrique de cellulose et

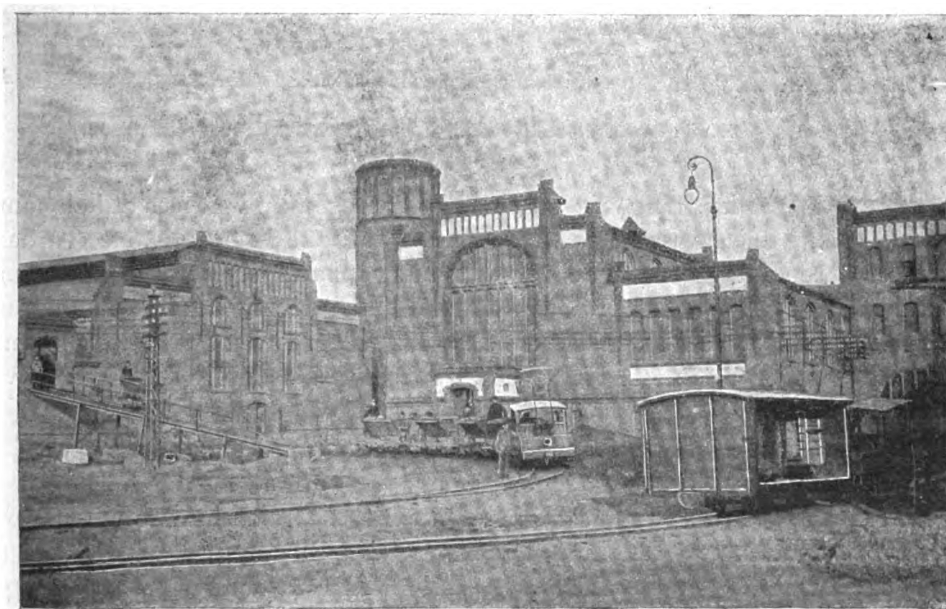


Fig. 8. — Chemin de fer électrique servant au transport du charbon.

la nouvelle fabrique de papier; particulièrement en ce qui concerne le transport du charbon et des matières premières. Ce trafic est assuré par un chemin de fer électrique qui

****

relie les deux fabriques. La voie est double, l'écartement des rails est de 750 mm, la distance des voies est de 2 500 mm d'axe en axe. La voie est établie sur un remblai de 1,50 m de hauteur moyenne, destiné d'une part à parer aux inondations fréquentes de l'Oder, d'autre part à éviter des rampes (la nouvelle fabrique est en effet un peu plus élevée que l'ancienne).

L'une des deux voies sert uniquement au transport du charbon. Sur le terrain de l'ancienne fabrique de cellulose, on a disposé, à l'extrémité de l'embranchement du chemin de fer de l'État, une série de coffres à charbon (fig. 7) où l'on charge le poussier destiné à la consommation. L'ouverture d'une trappe permet au charbon de tomber sur les wagonnets,

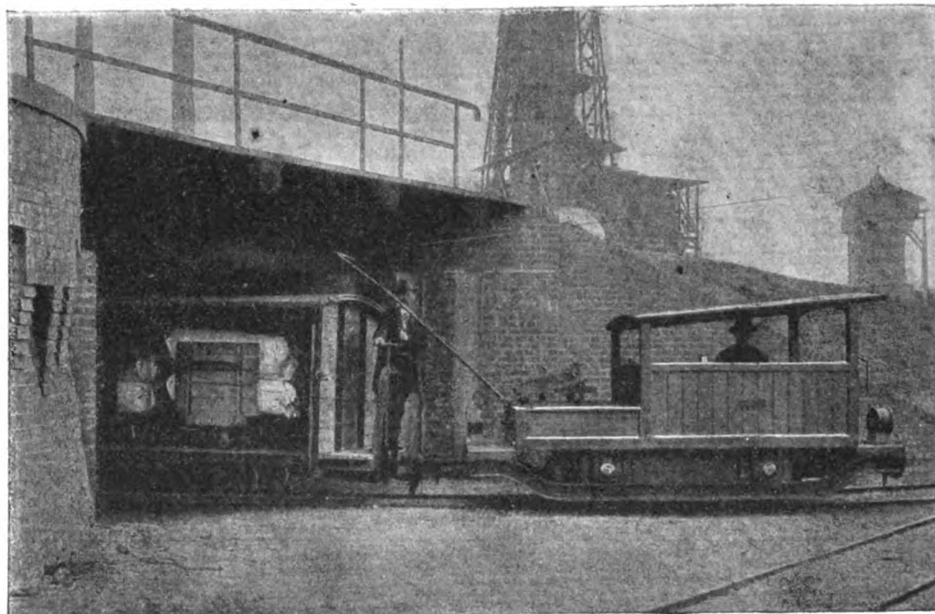


Fig. 9. — Chemin de fer électrique servant au transport des marchandises.

d'une contenance de 750 kg. Un train de charbon comprend 6 voitures et la locomotive qui, se trouvant en queue du train, pousse les wagons. Lorsque le train est arrivé dans la cour de la fabrique à papier, il décrit une courbe jusqu'au plan incliné conduisant à un nouveau dépôt à charbon (fig. 8). Là les voitures sont détachées, et tirées une à une sur le plan incliné au moyen d'une chaîne. On les vide dans les réservoirs à charbon, puis on les laisse redescendre sur le plan incliné et on reforme le train qui est alors dirigé à nouveau sur la station terminus.

La longueur de la voie est de 500 m, et la locomotive remorque, dans une journée de 10 heures, 16 trains de 6 voitures à 750 kg, soit au total 72 tonnes de charbon.

La deuxième voie sert à la manutention du papier, fibre, cellulose, chlorure de chaux, matières colorantes et autres, destinés à la fabrication du papier. Les marchandises qui arrivent par le chemin de fer de l'État sont déballées et amenées sur un wagonnet qui roule sur une passerelle et arrivent ainsi sur les voitures à marchandise. Les trains se composent ordinairement de 2 voitures qui passent d'abord sous la voie dérivée du chemin de fer de l'État en décrivant une forte courbe (fig. 9), traversent la voie des trains à charbon, et suivent ensuite une voie parallèle à celle-ci qui les conduit dans la cour de la nouvelle fabrique.

La ligne aérienne est portée par des mâts tubulaires à double potence (fig. 10), dis-

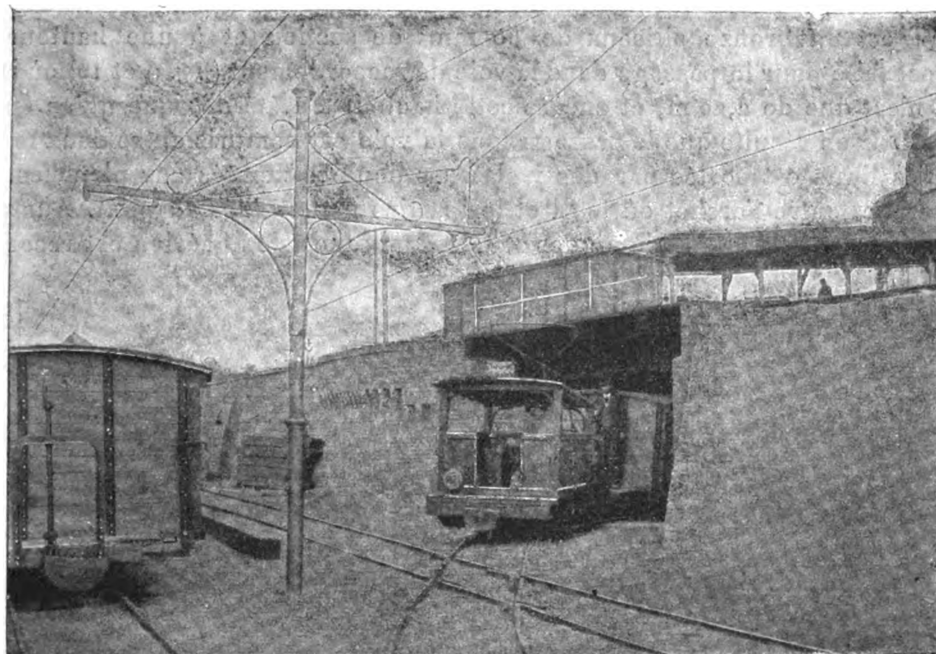


Fig. 10. — Passage sous un pont de chemin de fer.

tants de 35 m en moyenne. Les fils tendeurs pour les courbes des cours de la fabrique

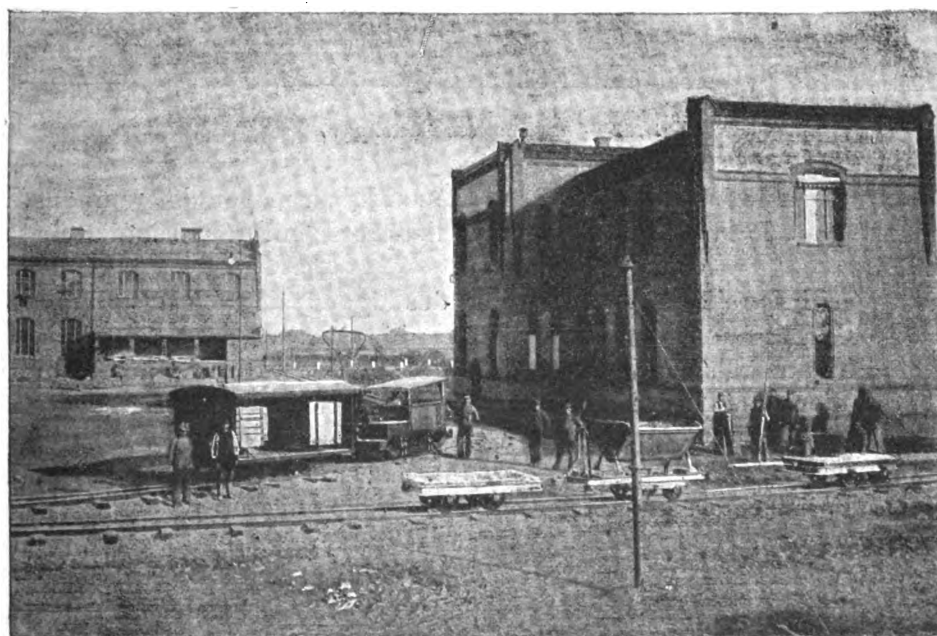


Fig. 11. — Cour de l'usine.

sont fixés aux bâtiments au moyen de crochets. Dans les endroits où la voie passe très

près des bâtiments, on a employé soit des supports fixés aux murs, soit des mâts tubulaires (fig. 11).

La ligne est en bronze siliceux de 50 mm² de section et à une hauteur de 3 m Exception est faite pour le passage dans la voie de raccordement (fig. 9 et 10) où la hauteur de la ligne n'est que de 2,20 m, et encore cette hauteur n'a été obtenue qu'en surbaissant un peu le sol. Il en résulte que le passage sous la voie est compris entre deux rampes. En cet endroit la ligne est portée par des isolateurs doubles montés sur planches. On évite ainsi tout contact entre l'archet ou le fil et les parties métalliques du pont. Aux points de croisement avec les lignes téléphoniques et télégraphiques, le fil aérien est recouvert d'un

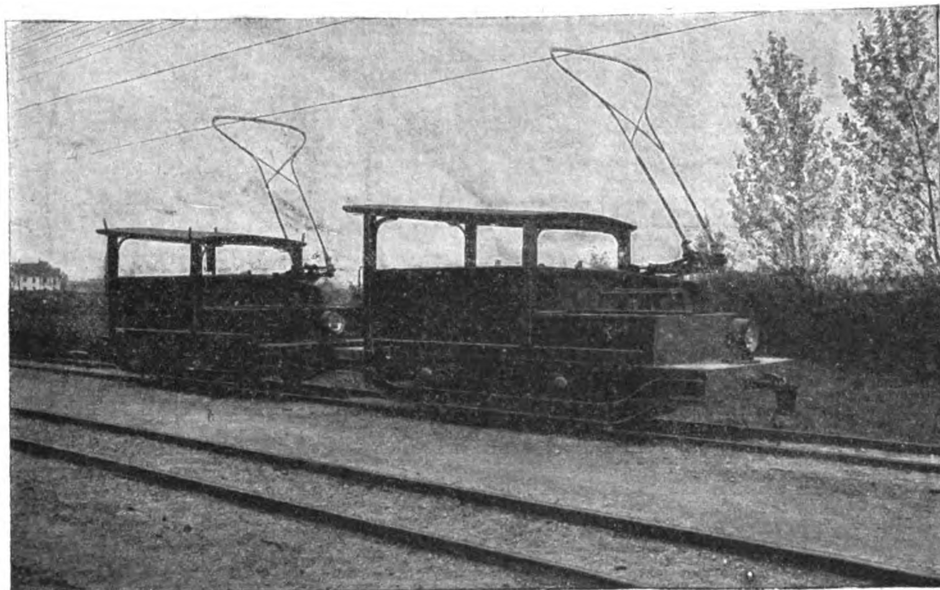


Fig. 12. — Locomotives électriques.

tube isolant ouvert par le bas et directement fixé sur lui au moyen de crampons. En outre, à un mètre au-dessus de la ligne, se trouve un filet protecteur dépassant l'archet de 40 cm de chaque côté.

Le fil aérien et les rails sont reliés par des lignes au tableau de distribution et peuvent en être séparés au moyen d'interrupteurs bipolaires. Des parafoudres sont disposés sur la ligne aérienne à l'entrée dans la station et aux derniers poteaux. En outre, chaque poteau est muni d'une pointe de fer qui communique par un fil de cuivre avec un tube de fer enfoui dans le sol humide. Des lampes à incandescence éclairent la voie.

Deux locomotives assurent le service (fig. 12). Chacune est mue par un moteur série à 220 volts d'une puissance normale de 12,5 chevaux, d'une puissance maxima de 18 chevaux. Le mouvement est transmis par chaîne Galle aux deux essieux. Un contrôleur placé à l'intérieur de la voiture sert à la mise en marche et au réglage de la vitesse, avec 7 combinaisons différentes. La locomotive est munie d'un solide frein à bande, mais peut aussi être freinée électriquement. Le mécanicien manie le contrôleur de la main gauche et le frein de la main droite. La prise de courant se fait par archet, à changement de sens automatique. Chaque locomotive éclaire la voie au moyen de deux lanternes, pourvues chacune de 2 lampes à incandescence.

Les dimensions principales de chaque locomotive sont les suivantes :

Longueur totale entre tampons	4 400 mm.
Largeur maxima	1 600 »
Hauteur maxima	2 000 »
Écartement des essieux	1 400 »
Diamètre des roues	700 »

Chaque locomotive exerce un effort de 450 kg au crochet de traction et atteint une vitesse maxima de 11 km à l'heure; le poids est de 3 500 kg.

L'installation qui vient d'être décrite présente cette particularité que les diverses applications de l'électricité, éclairage, transport de force et traction s'y trouvent réunies. Une seule station assure des services aussi multiples, ce qui contribue à procurer un très haut degré de sécurité joint à une grande facilité d'exploitation.

E. Beutom.

SUR LA THÉORIE GRAPHIQUE DES MOTEURS SYNCHRONES

Comme suite à l'article de M. Blondel sur ce sujet, aux remarques de M. Verhoeckx et à la réponse de M. Blondel, publiés récemment [1], nous recevons les deux lettres suivantes :

Amsterdam, 15 octobre 1901.

Dans sa note du n° 39, M. Blondel me prie de me reporter à son livre sur les moteurs synchrones, où ne se trouve pas l'erreur, qui s'est glissée dans son article du n° 25 et que j'indiquais dans ma note du n° 37. En effet, l'absence de la même erreur dans le livre de M. Blondel *prouve* bien qu'elle est de la nature d'une simple inadvertance; mais je n'avais pas besoin de consulter son livre pour être parfaitement convaincu que l'erreur ne *pouvait* être autre chose. J'ai tout simplement attiré l'attention de l'auteur, dont la haute compétence reste hors de la discussion, sur une erreur glissée dans son article, que je pouvais seulement constater, sans pouvoir en découvrir la cause. Maintenant, la question se pose de savoir si la construction que M. Blondel donne dans sa note pour la détermination de la courbe en V par points, est, en réalité, à préférer à la construction des hyperboles que j'indiquais dans la note du n° 37. La manière la moins encombrante d'opérer, ne sera pas, je crois, comme le veut M. Blondel, de procéder par tâtonnement, mais de construire une courbe auxiliaire de la manière suivante :

Posons

$$\pi = \mathcal{E}_2 - \omega L' I_d$$

et calculons pour une série de valeurs de $\mathcal{E}_2$, correspondant dans l'épure avec des valeurs de I_d, la quantité π.

Si nous portons π et $\mathcal{E}_2$ sur un système d'axes, nous obtenons une courbe

$$\pi = f(\mathcal{E}_2)$$

En traçant une droite parallèle à l'axe des $\mathcal{E}_2$

$$\pi = \frac{P}{I_w}$$

[1] *L'Éclairage Électrique*, t. XXVII, p. 429 ; t. XXVIII, p. 399 et 482.

l'intersection de cette droite avec la courbe auxiliaire nous donne les valeurs de $\mathcal{E}_2$ pour lesquelles l'équation

$$\mathcal{E}_2 - \omega L' I_d = \frac{P}{\mathfrak{I}_w}$$

est satisfaite.

Dans la construction de M. Blondel, la *détermination des points O_1 sur A_2X exige donc pour chacune de ses droites $B\varphi$ la construction d'une seconde courbe auxiliaire qui, elle même, doit être calculée point par point*. Je doute que cette construction soit plus simple que celle que j'ai indiquée et où chaque hyperbole correspond dès le commencement avec un point O_1 connu.

Recevez, etc.

P.-M. Verhoeckx.

Paris, 19 octobre 1901.

En réponse aux très intéressantes observations de M. Verhoeckx, je vais expliquer comment on peut exécuter les « tâtonnements » dont il s'agit *sans construire de courbe*, en se servant précisément de ma figure 9 page 438. Connaissant P et se donnant une valeur de I_w, on connait le second membre de l'équation

$$\mathcal{E}_2 - \omega L' I_d = \frac{P}{I_w} = \text{constante M}$$

On prend un point A_1 sur la droite DQ, on décrit de A_1 comme centre un cercle de rayon E_1; soit O_1 son intersection avec la droite A_2x. On en déduit aussitôt les valeurs de $\mathcal{E}_2$ et I_d

$$\mathcal{E}_2 = \overline{A_2O_1}$$

$$I_d = \frac{1}{Z}\overline{DA_1}$$

et par suite, par exemple, la valeur de

$$\mathcal{E}_2 - \omega L' I_d = N.$$

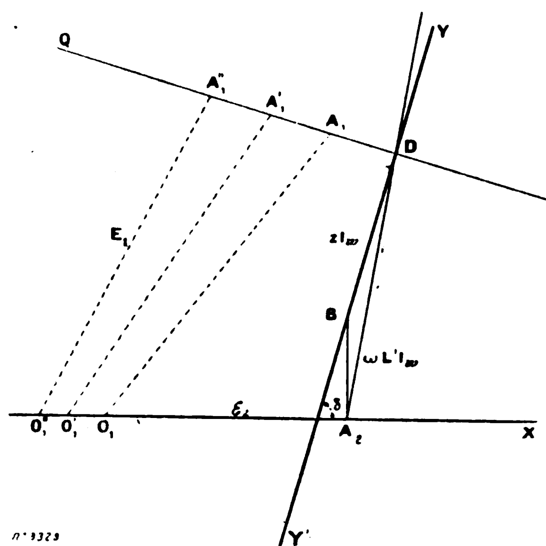


Fig. 1.

Si cette dernière est plus grande que M, c'est que le point A_1 choisi est trop près de D. Si elle est au contraire plus petite que M, c'est que le point est trop loin de D. On déplace le point A, en conséquence. Quand on a déterminé ainsi, très facilement, deux positions A_1 A_1'' qui donnent pour le polynôme N deux valeurs, l'une un peu trop grande N, et l'autre un peu trop petite N'', il suffit d'interpoler et de prendre un point A'_1 tel que

$$\frac{A'_1 A_1}{A''_1 A'_1} = \frac{N - M}{M - N''}$$

pour obtenir la puissance P désirée, avec une approximation bien suffisante pour la pratique.

Voilà le procédé que j'entends sous le nom de *tâtonnement*, sans construire une courbe $\pi = f(\mathcal{E}_2)$, comme le suppose M. Verhoeckx dans sa dernière lettre.

Je ne prétends pas du tout diminuer ainsi la valeur de son élégante construction d'une hyperbole, qu'on peut très bien préférer, et qui donne une solution théoriquement plus parfaite. Mais je cherche en général à n'utiliser dans les constructions graphiques que des droites et des cercles.

Je profite de la même occasion pour compléter ma précédente réponse au sujet du paragraphe

dans lequel M. Verhoeckx a trouvé avec raison une contradiction avec ce qui le précédait. Je me suis aperçu que ce paragraphe a été transposé là par erreur au lieu de celui qui figure dans mon livre, et se rapportait à l'article « Convertisseurs » formant la seconde partie de mon travail que je corrigeais à la même époque. On retrouvera ce passage à sa place dans cette seconde partie, qui va paraître. Pour rétablir le texte relatif aux moteurs il suffit de supprimer dans le titre (p. 438) les mots « à puissance constante et par suite » et à la page 439 les lignes 19-23.

Veuillez agréer, etc.

A. Blondel.

REVUE INDUSTRIELLE ET SCIENTIFIQUE

TRACTION

Les locomotives électriques à grande vitesse de l'Allgemeine-Elektricitæts-Gesellschaft, par **O. Lasche**. *Elektrotechnische Zeitschrift*, t. XXII, p. 803, 26 septembre 1901.

L'Allgemeine Elektricitäts-Gesellschaft a entrepris, sur sa plate-forme d'essai, des expériences sur une voiture à grande vitesse qui ont pleinement confirmé toutes les prévisions théoriques. La voiture a été essayée avec une vitesse circonférentielle des roues de *56 m par seconde*, soit 200 à 210 km à l'heure. Puis la voiture a été livrée à une société d'études qui va continuer les expériences sur une voie d'essai.

1. *Voie d'essai.* — La société d'études pour chemins de fer électriques à grande vitesse a été constituée en vue d'étudier les conditions techniques et économiques de la traction électrique sur les voies normales. On a admis comme limite supérieure de la vitesse 200 km à l'heure. Sur l'opinion favorable émise par des personnes très autorisées, on résolut d'employer une voie déjà existante. La construction d'une voie nouvelle aurait en effet exigé un temps et des ressources considérables. Les essais commenceront donc incessamment sur la ligne militaire Berlin-Zossen. Cette voie est particulièrement appropriée à ces études, car la superstructure, le profil et l'éclissage y présentent une certaine diversité.

Nous n'exposerons ici que la construction et les essais de la voiture ainsi que les études et essais auxquels cette construction a donné lieu.

a. *Vitesses de 80 à 100 km à l'heure.* — Si l'on conserve les vitesses actuelles de 80 à 100 km à l'heure, les voitures électriques fatiguent infiniment moins les voies actuelles que les locomotives à vapeur. Dans bien des cas, la traction électrique permet d'augmenter très sensiblement le trafic, sans modifier en rien les ouvrages d'art ou la superstructure. Il est inutile d'insister sur les avantages que le public retirerait de l'augmentation de vitesse avec voitures isolées ; diminution du temps du trajet ; fréquence des trains ; absence de fumée.

La construction des voitures motrices n'offre aucune difficulté pour ces vitesses ; ni la superstructure, ni les installations existantes ne subiraient de modifications importantes. La réalisation d'une économie sérieuse au moyen de la traction électrique est une condition qui n'est pas indispensable au succès de la traction sur voies normales. Il est certain que l'emploi des stations centrales permet l'emploi de chaudières perfectionnées, avec réchauffeurs, économiseurs, d'où résulte une utilisation du combustible bien meilleure que sur les locomotives ; la possibilité d'alimenter de longs trajets avec une seule centrale permet de charger plus régulièrement les machines, mais l'économie ne peut être réellement démontrée que par les essais. Dans bien des cas, l'augmentation de confort suffit seule à justifier l'adoption de la traction électrique.

b. *Vitesses de 200 km à l'heure.* — Le véritable objet des essais, est de déterminer les conditions techniques d'un service à grande vitesse ainsi que le maximum de vitesse admissible. Il est hors de doute que les signaux devront être modifiés, que les passages à niveaux et aiguillages seront supprimés ou tout au moins radicalement transformés. Les deux voies devront probablement être séparées, avec gares distinctes pour la voie montante et pour la voie descendante.

2. *Construction de la voiture motrice.* — On n'emploiera pas des locomotives au sens ordinaire du mot, mais bien des voitures motrices qui pourront contenir 50 voyageurs. L'une de ces voitures a été construite par l'Allgemeine Elektricitäts Gesellschaft, une autre par Siemens et Halske. La puissance normale des moteurs est de 1 000 chevaux, mais peut être portée à 3 000. Les essais montreront si ces puissances élevées sont nécessaires et permettront de déterminer la consommation aux différentes vitesses ainsi que l'influence du vent.

Le courant triphasé a été adopté pour permettre la traction sur les longues distances. Les essais entrepris ont montré que la production et la transmission de courant à 40 000 et 50 000 volts n'offre plus de difficultés. Pour la voie d'essais, on s'est contenté de 12 000 volts, car la distance de celle-ci à la station centrale de Berlin n'est que de 12,5 km, et la longueur de la voie n'est que de 24 km. Des transformateurs portés par la voiture même abaissent la tension à 435 volts, mais ce dispositif n'a rien d'obligatoire. Dans bien des cas, il sera plus avantageux d'alimenter les moteurs directement à 2 000 volts et de donner la même tension aux fils aériens. Des transformateurs répartis le long de la voie permettraient d'abaisser la tension de 50 000 à 2 000 volts, transformateurs qui n'exigeraient aucun service ni entretien.

A chaque extrémité de la voiture se trouve une cabine pour le mécanicien. Tous les organes conduisant le courant ont été disposés dans le milieu de la voiture et séparés des compartiments par des cloisons doubles en tôle soigneusement mises à la terre.

La longueur totale de la voiture est de 22 m. La caisse est supportée par deux trucks très forts munis chacun de 3 essieux. L'essieu du milieu sert de support tandis que chaque essieu extrême est commandé par un moteur de 250 chevaux normalement et 750 chevaux au maximum. Le diamètre des roues est de 1 250 mm, la vitesse de 900 tours par minute.

3. *Etudes préliminaires sur la construction de la voiture.* — La voiture ayant été construite uniquement en vue d'essais, le constructeur a pu abandonner les anciens procédés pour se lancer résolument dans une voie nouvelle. La construction diffère par suite entièrement de tout ce qui a été fait, soit pour les locomotives électriques de vitesses moindres, soit pour les voitures urbaines et suburbaines. Les études ont donc porté particulièrement sur les points où les locomotives à grande vitesse diffèrent des machines ordinaires.

On croyait au début que le poids de l'équipement électrique ne pouvait pas descendre au-dessous de 50 tonnes pour les puissances de 3 000 chevaux. Grâce à de nouveaux dispositifs et à une construction spéciale des transformateurs, moteurs et appareils de démarrage, on a pu arriver à 30 tonnes seulement. Grâce à une ventilation énergique du fer des transformateurs, le poids a pu en être réduit à 6,5 kg par kilowatt. Les moteurs ont été construits suivant les nouveaux types de l'Allgemeine-Elektricitäts-Gesellschaft : le bâti en fonte est supprimé et la couronne de tôles est libre, et par suite très bien ventilée.

Une autre question bien délicate était la suspension du moteur. Toute transmission tels que engrenages ou chaînes devait être exclue à priori. Quoiqu'on eût posé en principe de suspendre les moteurs par ressorts, il a fallu étudier bien des dispositifs divers. On commença par accoupler rigidement le moteur aux roues ; puis on le suspendit à l'essieu au moyen de ressorts ; ou bien on accoupla le moteur aux roues avec un accouplement élastique. Le problème était des plus difficiles ; il fallait suspendre élastiquement un moteur de 750 chevaux tournant à 1 000 tours sans charger aucunement l'essieu. On réussit enfin à trouver une solution satisfaisante en employant un accouplement élastique à glissement et une suspension élastique des paliers du moteur. L'arbre du moteur est forcément creux et la vitesse tangentielle dans les paliers est de 15 m par seconde. Les essais ont montré que les vitesses de 20 m étaient admissibles même pour de très fortes pressions.

On avait déjà souvent réalisé des rhéostats de démarrage pour moteurs de 250 et de 750 chevaux ; mais jamais encore ces appareils n'avaient été exécutés pour une puissance quadruple, avec réglage de vitesse et dimensions restreintes. On avait le choix entre les rhéostats à liquide et les rhéostats métalliques. Les premiers paraissaient inapplicables, car un démarreur liquide ordinaire ne peut rester en circuit pour régler la vitesse : le liquide s'échauffe rapidement au point d'entrer en ébullition. Pour les

rhéostats métalliques, le nombre considérable de contacts, balais, connexions et résistances constituait un obstacle des plus sérieux. Quatre moteurs avec 3 circuits donnent 12 phases exigeant chacune au moins 12 contacts ; à chaque contact correspondent des câbles de connexion allant aux résistances. Malgré cela l'intensité varie très brusquement d'une touche à l'autre et le réglage est très brutal. Il faut ajouter à cela que les contacts s'abîment très rapidement, d'où résulte une grande insécurité d'exploitation.

Tous ces inconvénients sont évités par le nouveau démarreur, particulièrement approprié aux moteurs qui ont à mettre en mouvement ou à arrêter des masses très lourdes. Cet appareil permet un réglage de vitesse et convient par conséquent très bien pour la commande de grandes machines d'extraction. Le liquide est une solution de carbonate de soude, mais à part cela l'appareil n'a rien de commun avec les rhéostats liquides ordinaires. Les électrodes sont immobiles et suspendues dans un réservoir dans lequel une pompe introduit de l'eau. Le réservoir est muni d'une soupape placée à la partie inférieure et par laquelle l'eau s'écoule. Lorsque le moteur doit démarrer, on ferme la soupape et le liquide s'élève et vient graduellement baigner les électrodes. La résistance diminue ainsi graduellement et sans à-coups. En réglant la vitesse d'arrivée de l'eau, on règle en même temps la durée du démarrage du moteur et on évite toute surcharge. Un trop-plein disposé dans le récipient sert au départ de l'eau : celle-ci s'écoule donc par en haut, c'est-à-dire là où sa température est la plus élevée, on peut ainsi laisser constamment la résistance en circuit, c'est-à-dire marcher constamment à une vitesse inférieure à la vitesse normale. Pour régler la vitesse, il suffit de faire varier la hauteur du trop-plein.

Pour essayer ce nouvel appareil, on s'est servi du dispositif suivant : Un moteur triphasé d'une puissance normale de 200 chevaux et d'une puissance maxima de 400 chevaux est accouplé directement à un volant très lourd d'une part et à une dynamo, d'autre part. On obtient ainsi, d'une part, un couple résistant constant, d'autre part, un couple résistant dû à l'inertie des pièces tournantes. Une pompe centrifuge mue par un petit électromoteur puise le liquide dans un réservoir et l'amène dans le rhéostat d'où il retourne dans le réservoir. La pompe tourne continuellement, ce qui provoque un continuel brassage du liquide.

Le maniement de cet appareil est très simple et n'exige qu'une force insignifiante. Dans la cabine du mécanicien se trouve un simple volant de manœuvre qui commande un arbre de transmission courant le long de la voiture et actionnant tout l'appareil. Ce volant permet donc de régler la vitesse de la marche, d'inverser le courant et de régler le freinage.

La vitesse de 200 km exige, outre le frein Westinghouse, un freinage électrique. L'appareil décrit ci-dessus permet de réaliser ce freinage avec une entière sécurité, soit au moyen de courant inverse, soit en utilisant le moteur comme génératrice en envoyant dans le stator du courant continu fourni par une batterie.

Avant d'entreprendre les essais, on a jugé nécessaire d'essayer la voiture sur plate-forme. A cet effet chaque truck a été posé sur des rouleaux d'essai et on est arrivé à la vitesse de 200 à 210 km à l'heure. Quoiqu'on ne puisse tirer de conclusion formelle de ces expériences, il est néanmoins permis de penser que le matériel est entièrement approprié au but que l'on poursuit.

E. Beutom.

MESURES

Compteur W. Uhde. *Elektrotechnische Rundschau*, t. XVIII, p. 126, 1er avril 1901.

Le compteur Uhde est un compteur alternatif du genre Ferraris, il permet d'évaluer l'énergie consommée dans le cas où il y a décalage dans le réseau de distribution. A cet effet il est nécessaire que le champ magnétique produit par la bobine de dérivation diffère de 90° du champ de la bobine principale. Le dispositif consiste à établir une différence de phase entre la tension aux bornes de la bobine du compteur et la tension de distribution qui soit le complément de la différence de phase entre la tension aux bornes et le courant qui traverse la bobine de tension.

Soit AB (fig. 1) la tension en grandeur et direction aux bornes de la bobine de tension et AC la chute de tension ohmique, AC représente aussi la direction du courant. La différence de phase diffère de 90° de l'angle $\alpha = ABC$. Par le dispositif Uhde, il est établi, entre la tension aux bornes de la bobine de tension représentée en direction par AB et la tension du réseau,

représentée par DE, une différence de phase de α. Dans ce cas, la chute de tension ohmique AC est perpendiculaire à DE, de sorte que la diffé-

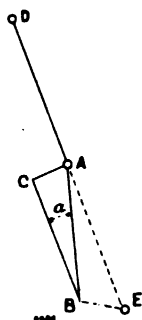


Fig. 1.

rence de phase entre le courant qui parcourt la bobine de tension du compteur et la tension du réseau est de 90°. AD représente la tension du réseau, et ainsi le diagramme est précisément celui d'un transformateur, dont la tension primaire serait AD et la tension secondaire AB avec une différence de phase de α entre les tensions.

Pour atteindre le but proposé, il est donc nécessaire d'insérer la bobine de tension du compteur dans le circuit secondaire d'un transformateur dont le primaire serait alimenté par

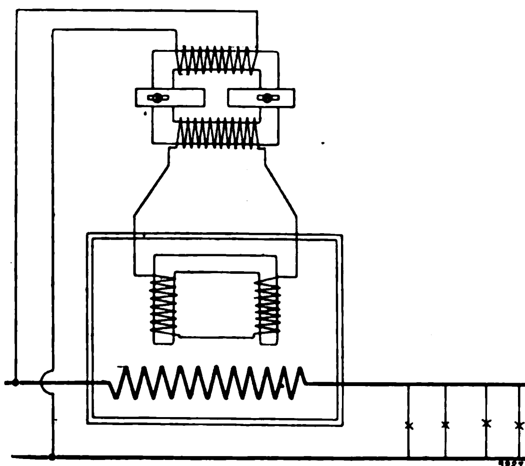


Fig. 2.

la tension de distribution (fig. 2). Soit, par exemple, un compteur dont la bobine de dérivation a pour résistance 5,6 ohms et est parcourue par un courant de 0,5 ampère. La perte de tension ohmique est donc de 2,8 volts ; reportons-nous à la figure 1, la tension aux bornes AB = 110, la perte ohmique AC = 2,8 et CB est la tension due à la self-induction. De même AC représente la direction du courant qui traverse la bobine de tension du compteur ; de sorte que la différence de phase entre ce courant et la tension aux bornes est BAC = 88°,5. L'angle α est donc de 1°,5, c'est l'angle entre la tension du réseau et la tension aux bornes et aussi la différence entre les tensions primaire et secondaire. Dans la figure 2, la régulation de la différence de phase résulte du changement de dispersion magnétique.

Un autre mode de régulation consiste à insérer une résistance W_1 avant l'enroulement primaire du transformateur. Si l'angle α doit être augmenté ou diminué, on choisit l'inductivité de la résistance W_1, plus petite ou plus grande que l'inductivité apparente de l'enroulement du transformateur.

On obtient encore un autre mode en disposant une résistance en parallèle ou en série avec le primaire ou le secondaire ou les deux simultanément et cela en modifiant ou non la dispersion magnétique (fig. 3 et 4).

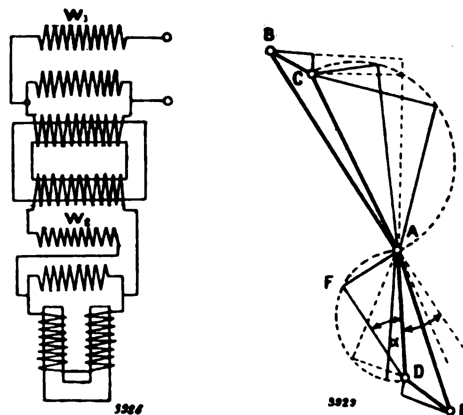


Fig. 3 et 4.

AB représente la tension de distribution, AC la tension primaire et AE la tension secondaire du transformateur, BC la tension de la résistance W_1, DE la tension de la résistance W_2, AD la tension aux bornes de la bobine de tension du compteur qui diffère de ADF = α de la tension du réseau, de sorte que la direction AF du courant de la bobine de tension est perpendiculaire à la tension du réseau, comme le montre aussi le diagramme ADF.

G. Goisot.

Compteur Wirth et Cie. *Elektrotechnische Rundschau*, t. XVIII, p. 148, 1er mai 1901.

Le nouveau compteur Wirth et Cie est un compteur moteur à induit oscillant. Les avantages de sa disposition sont dus au partage de la masse mobile du système oscillant et à la décomposition du chemin de l'oscillation. On tourne la difficulté que présentent habituellement les compteurs à induit oscillant pour obtenir un contact suffisamment sûr dans la position extrême, en laissant la bobine oscillante se mouvoir toujours d'un même côté sous l'influence de la force électrodynamique des bobines fixes, tandis que le

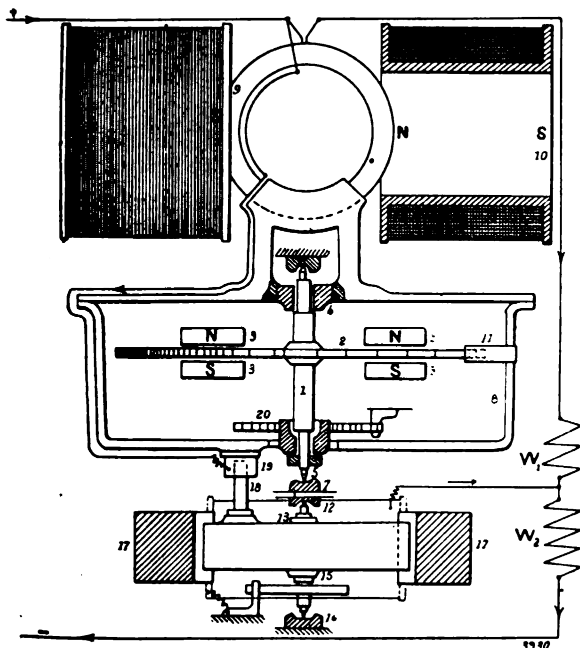


Fig. 1.

retour au lieu de se faire librement est soumis à l'action d'un électro excité dans la position extrême et qui contraint la bobine à revenir dans sa position initiale ; la bobine oscillante travaille donc seulement dans un sens du mouvement.

L'amortisseur ou frein est débrayé alors, de sorte que la bobine ne l'entraîne que pendant la période d'aller. La force vive pendant le retour de la bobine est en outre utilisée pour vaincre la résistance au mouvement pendant la marche à très faible charge par l'action d'un ressort, elle sert aussi au mécanisme de contact du compteur.

La disposition générale est représentée par les figures 1 et 2 :

La bobine de tension 9 mobile entre les bobines principales 10 est portée par un châssis qui peut se mouvoir librement entre les pivots 4 et 5 de l'axe du frein et porte d'une part, l'endenture 11 et, d'autre part, la plaque de con-

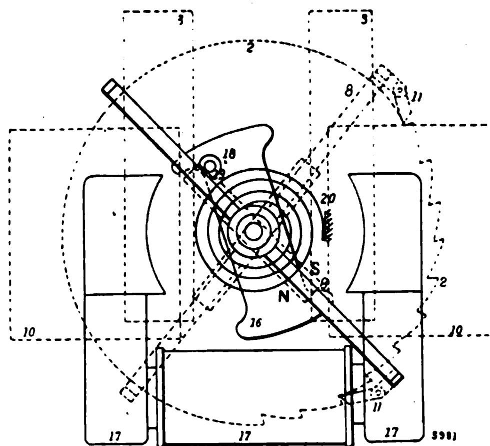


Fig. 2.

tact 19. L'axe 1 se meut entre les supports 6 et 7 et porte le disque amortisseur 2 tournant entre des aimants. Dans le prolongement de l'axe se trouve un autre axe 13 mobile entre les supports 12 et 14 et sur lequel est fixé l'induit 16 qui se meut dans le champ des électros 17. Cet induit est ramené par le ressort 15 et porte l'endenture et le buttoir 18 qui au moment du contact avec la plaque 19 excite les électros 17 et, à l'oscillation inverse, qui suit rapidement, ramène par sa pression contre 19 le châssis 8 et par suite la bobine 9 dans sa position initiale.

La marche est la suivante : au moment de l'impulsion, la bobine de tension sous l'action électrodynamique des bobines fixes tourne par exemple vers la droite, lorsque le courant parcourt les bobines 10. Le solénoïde entraîne au moyen du poussoir le disque 2 qui se meut entre les aimants 3 et porte une denture et pousse, à la fin de l'oscillation, dont l'amplitude est par exemple de 90°, la plaque de contact contre le buttoir 18 fixé à l'induit 16. Le contact est ainsi fermé, l'électro 17 excité attire son armature de fer. Dans sa rotation à gauche, il entraîne, grâce à la pression de 18 sur 19, le châssis et ramène avec lui la bobine de tension dans la position initiale avec vitesse. Pendant cette rotation

inverse, le poussoir 11 glisse sur l'endenture de l'amortisseur 2, ce dernier n'est donc pas ramené avec lui et reste immobile ou continue son mouvement suivant l'impulsion qui lui a été communiquée. Pendant le retour de la bobine, on voit que la fermeture nécessaire du contact 18 — 19 est assurée par l'armature de l'électro par suite de la pression des deux pièces l'une sur l'autre. En outre, pendant le retour, un simple ressort en spirale 20 dont l'extrémité intérieure est fixée au châssis de la bobine 9 et dont l'autre extrémité est fixée à l'extérieur, est attelé à cette bobine de tension et peut aider, dans la période d'aller qui suit, l'action électrodynamique des bobines de courant sur la bobine 9.

L'électro-aimant 16, qui par la suite du fonctionnement et pendant l'interruption du contact 18-19 est lancé dans sa position initiale par le ressort 15, sert à actionner le mouvement du compteur qui avance d'une dent à chaque oscillation. L'emploi d'un système oscillant double, constitué par la bobine influencée et par l'amortisseur, présente l'avantage de donner un moyen de régulation de la proportionnalité en autres par l'utilisation de la force vive de l'amortisseur. Avec une denture fine, pour les fortes charges, l'impulsion communiquée à l'amortisseur lui donne une vitesse de rotation plus élevée, et l'effet résultant est de faire avancer l'endenture de deux ou trois dents par exemple.

G. Goisot.

MAGNÉTISME

Effet magnétique de la convection électrique, par **Harold A. Wilson**. *Philosophical Magazine* [VI], t. II, p. 319, sept. 1901.

Cette note est la réponse de M. H.-A. Wilson à la note de M. V. Crémieu, publiée dans le numéro d'août 1901 du *Philosophical Magazine*. (Voir *L'Éclairage Électrique*, t. XXVIII, p. 191, 3 août 1901). L'auteur commence d'abord par s'excuser de l'erreur qu'il avait commise en lisant la courte note de M. Crémieu, parue dans les *Comptes rendus* et par l'intermédiaire de laquelle il avait compris que M. Crémieu employait dans ses expériences bien connues, un simple barreau aimanté, alors que dans ses expériences définitives il a toujours employé un circuit magnétique constitué par un cadre rectangulaire de fer excité par une bobine magnétisante. L'auteur ne croit cependant pas que son objection soit réduite à néant par suite de cette erreur involontaire. Il est en effet aisé de voir, dit-il, en se référant aux données de M. Crémieu, que presque la totalité des lignes de force magnétique dans son appareil doivent passer à travers l'air et non pas à travers le rectangle de fer, comme M. Crémieu le suppose; et si cette expérience prouve quelque chose, elle prouve que la force électromotrice due à la variation de l'induction magnétique doit agir sur une charge statique. L'auteur croit que si M. Crémieu répétait cette expérience en employant simplement un barreau aimanté à la place du rectangle, il n'obtiendrait toujours pas d'effet; tandis que s'il est vrai que l'effet en question ne doit pas exister, on devrait obtenir, lorsque le disque est chargé, une déviation due à l'action du champ magnétique sur le courant.

En ce qui concerne le reste de la note de M. Crémieu, où ce dernier soutient qu'il est à l'abri de toutes les objections de M. H.-A. Wilson, M. Wilson répond que la supposition qu'il avait faite sur le mauvais isolement des secteurs n'est qu'une partie secondaire des objections qu'il se croit en droit d'adresser aux expériences de M. Crémieu se référant au disque en rotation.

M. H.-A. Wilson termine enfin sa note en faisant connaître son appréciation sur l'expérience de M. Crémieu qui tendrait à prouver l'existence des *courants ouverts*. Dans cette expérience, dit-il, on fait tourner rapidement un disque en ébonite de 2,5 mm d'épaisseur portant sur une de ses faces des secteurs métalliques. En regard de l'autre face du disque on place un secteur métallique chargé, de manière qu'il charge par induction les secteurs se trouvant sur le disque. Le mouvement de cette charge induite constitue la partie « ouverte » du courant. Le secteur de charge est à 2,5 mm. du disque et son potentiel est d'environ 115 unités C. G. S. électrostatiques. Ce potentiel est suffisant pour produire une étincelle de 1 cm de longueur de manière qu'il se produit une décharge en aigrette entre le secteur et l'ébonite ce qui donne sur le côté du disque, en regard du secteur fixe une charge égale et opposée à celle induite sur les secteurs en mouvement. La charge totale du disque est par suite nulle et il n'y a donc pas de création de champ magnétique.

Eugène Néculcéa.

Déviation de l'aiguille aimantée produite par les rayons cathodiques, par **J. von Geitler**. *Dr. Ann.*, t. V, p. 924-931, août 1901.

Hertz avait essayé sans succès de mettre en évidence une action des rayons cathodiques sur l'aiguille aimantée. D'après M. von Geitler, cet insuccès est dû au courant inverse des rayons cathodiques provoqué par le déplacement des charges électriques sur les parois du tube : l'action de ce courant sur l'aiguille neutralise celle des rayons eux-mêmes. En disposant l'aiguille dans l'intérieur du tube, il a observé une déviation sous l'action des rayons cathodiques, telle que la produirait un courant d'électricité suivant en sens inverse la trajectoire de ces rayons. Cette déviation est d'un ordre de grandeur comparable à celle que provoquerait le courant total de décharge. M. LAMOTTE.

Notes sur le phénomène de Zeeman, par **N.-A. Kent**. *Philosophical Magazine* [VI], t. II, p. 275, septembre 1901.

H.-M. Reese [1] a montré que la séparation des composantes extérieures du triplet régulier de Zeeman ou du quadruplet (observé perpendiculairement aux lignes de force) ne doit pas varier proportionnellement avec l'intensité du champ magnétique dans lequel la source lumineuse est placée. Ce fait a été établi pour différentes raies du zinc et du cadmium et avec un champ de 26000 C. G. S. (approxim.). En étudiant ensuite certaines raies du spectre du fer il établit que : « En comparant la séparation des lignes comprises entre 3900 A et 4450 A [2], on observe en même temps que les raies peuvent être divisées en deux classes, dans chacune desquelles la séparation (dédoublement) des différentes raies est du même ordre de grandeur. Ces deux classes sont identiques à celles pour lesquelles Humphreys a trouvé que le déplacement dû à la pression est le même. Sur ces clichés la séparation est dans tous les cas très petite, à cause de la petitesse du champ, et il n'a pas été fait de mesures précises de cette séparation ».

Il semble donc intéressant de compléter les résultats de Reese sur le zinc en employant des champs de forte intensité, et de reprendre l'étude du spectre du fer en mesurant avec soin la séparation des raies. C'est à l'auteur de cette note que revient l'idée de ces recherches très intéressantes ainsi que d'autres questions qui en résultent.

L'appareil employé par l'auteur est identique à celui employé par Reese : un réseau concave de Rowland de 13 pieds 3 inchs (environ 4,04 m) de rayon, possédant 15000 traits par inch (inch = 0,025399 m), et une chambre photographique ordinaire ; les plaques photographiques employées par l'auteur appartenaient aux marques suivantes : Seed's « Gilt Edge », Cramer's « Isochromatic Fast », et the International Photo, Co's « Erythro » plates; l'électro-aimant pouvait donner un champ maximum de 33000 C. G. S. avec un entrefer de 3 mm. Quant à la source lumineuse, elle était constituée par une étincelle éclatant entre deux pôles métalliques (qui étaient constitués ou contenaient seulement le métal à étudier) ; cette étincelle était produite par un courant alternatif de 133 *cycles* (pulsations) par seconde qui passait à travers une impédance réglable à volonté et à travers un transformateur dont le secondaire contenait un condensateur en dérivation ; c'est ce dernier qui produisait la décharge entre les pôles métalliques, maintenus par des gros fils. On utilisait en outre une self-induction dans le circuit de décharge toutes les fois qu'on désirait éliminer le spectre de l'air ou rendre brillantes les raies du métal dont on étudie le spectre. Pour mesurer le déplacement des raies, on utilisait une machine à diviser de grande précision.

Voici maintenant les résultats obtenus par l'auteur dans le cours de ces recherches :

1° La séparation des composantes extérieures des raies 4680,38 A ; 4722,26 A ; 4810,71 A du spectre du zinc n'est pas proportionnelle à l'intensité du champ pour des valeurs de ce dernier comprises entre 26000 et 33000 C. G. S. ; ce sont là les résultats déjà obtenus par Reese, mais plus précisés et plus complétés.

2° Pour les raies du fer (choisies un peu au hasard), on obtient le même résultat et les lignes qui dans le spectre ordinaire du fer sont « nébu-

(1) *Astrophys. Journal*, t. XII, n° 2, septembre 1900, p. 120-135.

(2) A veut dire unité Angström, c'est-à-dire $10^{-4}\mu$. On désigne quelquefois cette unité de mesure par μ' (surtout dans les ouvrages anglais). Michelson l'appelle *thent mètre*. On a en effet :

$$1 \text{ unité Angström} = A = \mu' = 10^{-4}\,\mu = 10^{-10}\,\text{m}.$$

leuses » montrent un accroissement des plus faibles avec l'accroissement du champ ; en d'autres termes, la courbe de séparation « $\Delta\lambda$ » par le champ « H » est très peu prononcée.

3° Il suit, d'après l'auteur, que la tentative de MM. Becquerel et Deslandres [1] de découvrir une loi qui régisse la séparation des raies dans le spectre du fer en employant un champ de 35 000 C. G. S., n'est pas justifiée, et on ne peut, en effet déduire aucune loi, du genre de celle de MM. Becquerel et Deslandres, des mesures effectuées sur les clichés obtenus par l'auteur, qui contiennent 80 raies et qui paraissent très en forme pour des mesures.

4° Quant au changement produit par la pression sur les raies du fer, l'auteur a étudié avec beaucoup de soin 34 raies. Sur ces 34 raies, 26 présentent ou fort changement par la pression et forte séparation, ou faible changement par la pression et faible séparation et 8 raies présentent seulement grand changement par la pression et faible séparation, ou faible changement par la pression et grande séparation.

5° En ce qui concerne le nickel il n'y a aucune loi apparente qui régisse la séparation.

6° La loi de Preston : $\frac{\Delta\lambda}{\lambda^2 H}$ = constante pour les raies homologues des séries de raies spectroscopiques de Kayser et Runge, a également été étudiée par l'auteur. Elle a été déduite par Preston des mesures effectuées sur les raies du cadmium et du magnésium dans la deuxième série subordonnée, où les longueurs d'onde sont obtenues en posant n égal à 3 dans la formule de Kayser et Runge :

$$\frac{1}{\lambda} = A + \frac{B}{n^2} + \frac{C}{n^4}.$$

Les raies considérées par l'auteur sont contenus dans les tableaux I et II.

TABLEAU I

Raies des séries spectroscopiques considérées.

MÉTAUX	1re SÉRIE SUBORDONNÉE			2e SÉRIE SUBORDONNÉE					
	$n = 4$			$n = 3$			$n = 4$		
Zn. .	3252,42	3303,03	3345,62	4680,38	4722,26	4810,71			
Cd. .	3403,74	3467,76	3613,04	4678,37	4800,00	5086,06	....	....	3252,63
Hg. .	....	....	....	4046,78	4358,56	5460,97			
Mg. .	....	....	3838,44	5167,55	5172,87	5783,84			
Ca. .	....	....	....	....	6122,46	6162,46	4425,61	4435,86	4456,08
Sr . .	4832,23	4876,35							

Le tableau n° II contient dans des positions homologues les valeurs de $\frac{\Delta\lambda}{\lambda^2 H}$ obtenues d'après les mesures effectuées sur mes clichés et d'après les résultats de Reese et Preston.

Le tableau n° III a été obtenu en corrigeant le tableau II par une étude complète de « l'affaiblissement » des raies homologues. Et on ne peut comparer les $\frac{\Delta\lambda}{\lambda^2 H}$ sans certaines corrections à cause du fait que, pour obtenir une séparation suffisante, il est nécessaire d'employer un champ supérieur a 26 000 unités C. G. S., et qu'en même temps l' « affaiblissement » dans la courbe H-$\Delta\lambda$ n'est pas la même pour toutes les raies.

Ce tableau III montre :

1° Que la loi de Preston $\frac{\Delta\lambda}{\lambda^2 H}$ = const. pour des raies homologues (loi établie pour les raies homologues du zinc, cadmium et magnésium données par $n = 3$ dans la seconde série subordonnée) paraît subsister pour les raies homologues du mercure et du cadmium.

2° Que, dans les limites de la précision des mesures, $\frac{\Delta\lambda}{\lambda^2 H}$ est le même pour les raies homologues données par $n = 4$ dans les deux séries subordonnées du zinc, cadmium, mercure, ma-

[1] *Comptes rendus*, t. CXXIX, p. 18-24, 1898.

TABLEAU II

$\frac{\Delta\lambda}{\lambda^2 H} \times 10^5$ (avec H = 26460 C.G.S.)

	1re SÉRIE SUBORDONNÉE			2e SÉRIE SUBORDONNÉE											
	$n = 4$			$n = 3$									$n = 4$		
				Résultats de Kent			Résultats de Reese ([1])			Résultats de Preston ([2])					
Zn	5,1	8,5	11,4	16,5	14,9	8,9	17,0	15,3	11,3	17	14,8	9,53			
Cd	5,0	8,6	11,3	16,4	14,6	9,1	17,0	15,5	10,5	. . .	. . .	. . .	. . .	. . .	11,0
Hg		. . .		16,7	14,7	8,7	16,7([3])		10,3						
Mg			11,1	16,1	14,1	9,0	16,7	14,9	10,5						
Ca		. . .		. . .	[15,1	10,4]	. . .	. . .	. . .	. . .	. . .	. . .	4,8	8,2	11,4
Sr	[12,8	12,5]													
Moyenne ([3])	5,1	8,6	11,3	16,4	14,6	8,8	16,9	15,2	10,7	17	14,8	9,5	4,8	8,2	11,2

([1]) Les valeurs de Reese.
([2]) Valeur moyenne approchée donnée par Preston pour les raies homologues du Zn, Cd et Mg (H = 20000).
([3]) Calculées d'après les données de Reese (*Astrophys. Journal*, n° 2, septembre 1900, p. 129).

TABLEAU III

$\frac{\Delta\lambda}{\lambda^2 H} \times 10^5$ (valeurs corrigées).

1re SÉRIE SUBORDONNÉE			2e SÉRIE SUBORDONNÉE											
$n = 4$			$n = 3$									$n = 4$		
			Résultats de Kent			Résultats de Reese			Résultats de Preston					
5,2	8,8	15,1	16,9	15,0	12,0	16,9	15,2	10,7	17	14,8	11,1	4,8	8,4	14,9
1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3

gnésium et calcium. Ceci suppose que les raies non considérées présentent des valeurs de $\frac{\Delta\lambda}{\lambda^2 H}$ qui sont les mêmes que celles considérées dans chaque suite — supposition qui est certainement injustifiable.

3° Que la valeur moyenne de $\frac{\Delta\lambda}{\lambda^2 H}$ — obtenue d'après les déterminations de Preston, Reese et M. N. A. Kent, — pour le troisième groupe dans $n = 3$, ou $\frac{1}{3}(12 + 10,7 + 11,1) = 11,27$, est à la valeur moyenne pour $n = 4$ (donnée dans le même tableau III) dans les groupes homologues des deux séries subordonnées, ou $\frac{1}{2}(15,1 + 14,9) = 15,00$, comme

$$\left(\frac{\Delta\lambda}{\lambda^2 H}\right)_{n=3} : \left(\frac{\Delta\lambda}{\lambda^2 H}\right)_{n=4} :: 3 : 4$$

or $\frac{1}{3}(11,27) = 3,76$ et $\frac{1}{4}(15,00) = 3,75$.

Si donc nous supposons $\frac{\Delta\lambda}{\lambda^2 H}$ proportionnel

à $\frac{e}{m}$ (où e est la quantité d'électricité portée par la particule de masse m), nous voyons que le rapport de la charge à la masse de la particule varie directement avec n, pour le troisième groupe de raies dans la deuxième série subordonnée, où n ne prend comme valeurs numériques que la valeur 3 ou 4.

4° Qu'il ne parait pas y avoir de relation entre les groupes 1 et 2, $n = 4$, et 1 et 2, $n = 3$; ou en employant les valeurs moyennes totales, entre

16,9 ; 15,0 pour $n = 3$,
et 5,0 ; 8,6 pour $n = 4$.

Néanmoins, vu que les longueurs d'onde des trois raies constituant le triplet sont liées les unes aux autres de telle manière que, la longueur d'onde d'une d'entre elles étant donnée, on peut calculer les autres, on ne peut pas s'attendre qu'il apparaisse de nouveau une relation entre la première, la seconde et la troisième raie du triplet d'une série quelconque, à moins que cela ne soit en effet, une relation équivalente à celle que nous avons mentionnée, à savoir : la possibilité de calculer la longueur d'onde de chacune de deux autres raies du triplet, la première étant connue.

Eugène NÉCULCÉA.

Contribution à l'étude de l'effet thermomagnétique longitudinal. par **L. Lownds**. (*Dr. Ann.*, t. IV, p. 776-788, avril 1901).

Sous le nom d'effet thermomagnétique longitudinal on désigne la variation de force électromotrice qu'éprouve un couple thermo-électrique formé de bismuth, quand ce bismuth est placé dans un champ magnétique dont les lignes de force sont perpendiculaires aux lignes de flux calorifique.

L'auteur a voulu mettre cet effet en évidence par le dispositif représenté par la figure 1.

AB est un fil de bismuth de 35 cm de long et de 1 mm de diamètre à ses extrémités sont soudés des fils de cuivre, formant avec lui un élément thermoélectrique, dont on mesure la force électromotrice par la méthode de compensation. L'une des soudures B est plongée dans un bain à température constante G ; de même la soudure A est plongée dans un bain E à température constante aussi, mais différente de la première. La soudure B est placée entre les pôles d'un électro-aimant. En C et D sont soudés des couples fer-constantan, qui permettent de déterminer la température de ces points. Quatre

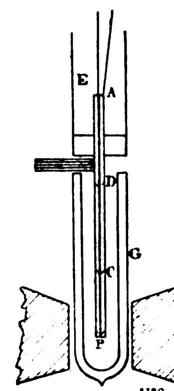


Fig. 1.

séries d'expériences ont été effectuées dans les conditions suivantes :

1° Glace en G, pétrole à la température ambiante en E ;

2° Anhydride carbonique et éther en G, glace en E ;

3° Air liquide en G, glace en E.

Le champ magnétique avait une intensité de 4720 CGS ou de 8100. Dans ces conditions, on n'a pas observé de chute de température dans le champ magnétique et la force électromotrice de l'élément thermoélectrique était la même que le champ fût excité ou non.

D'après la théorie de lord Kelvin, la force électromotrice d'un élément thermoélectrique dont les soudures sont respectivement aux températures T et T′ sont égales à :

$$E = \Pi(T) - \Pi(T') + \int_T^{T'} (\sigma_2 - \sigma_1) dT$$

les deux premiers termes correspondent à l'effet Peltier, le troisième à l'effet Thomson. D'autre part :

$$O = \frac{\Pi(T)}{T} - \frac{\Pi(T')}{T'} + \int_T^{T'} \frac{\sigma_2 - \sigma_1}{T} dT.$$

Puisqu'il n'y a pas de chute de température dans le champ magnétique, on aura, dans le champ magnétique d'intensité H.

$$O = E_H - E_0 = \Pi(T)_H - \Pi(T)_0.$$

L'effet Peltier est donc indépendant du champ magnétique. De même :

$$\sigma_2 - \sigma_1 = T \frac{d \frac{\Pi}{T}}{dT}$$

sera indépendant du champ.

Par conséquent l'effet thermomagnétique longitudinal ne peut être considéré comme un changement des constantes des phénomènes Peltier et Thomson.

L'effet thermomagnétique n'est pas non plus un effet local sur les soudures. Que la région de chute de la température se trouve dans le champ magnétique et les soudures en dehors ou bien les soudures dans le champ et la région de chute en dehors, la force électromotrice de l'élément thermoélectrique reste la même pour une intensité donnée du champ.

Ces résultats ne sont pas d'ailleurs inconciliables avec ceux qui ont été obtenus par Defregger (1). Dans les expériences de Defregger les effets de sens contraire qui se produisent aux deux extrémités de la lame de bismuth pouvaient se compenser.

D'après Nernst, la force électromotrice e correspondant à l'effet longitudinal entre deux points 1 et 2 dépend seulement des températures t_1 et t_2 de ces points et non de la forme du bismuth entre ces points

$$e = n(t_2 - t_1)$$

n étant une fonction de l'intensité du champ et de la température moyenne $\frac{1}{2}(t_2 + t_1)$. M. Lownds a déterminé cette fonction n entre $+70°$ et la température d'ébullition de l'air liquide (fig. 2).

A 112° l'effet thermomagnétique longitudinal croît d'abord avec l'intensité du champ, atteint un maximum pour l'intensité 2 450 C.G.S., puis décroît de nouveau et il est vraisemblable que pour une valeur du champ plus grande que la limite des expériences présentes, l'effet deviendrait négatif. A des températures élevées, l'allure est la même et fait prévoir aussi l'existence d'un maximum et d'un changement de signe, mais pour des champs plus intenses que les champs employés ; plus la température est élevée,

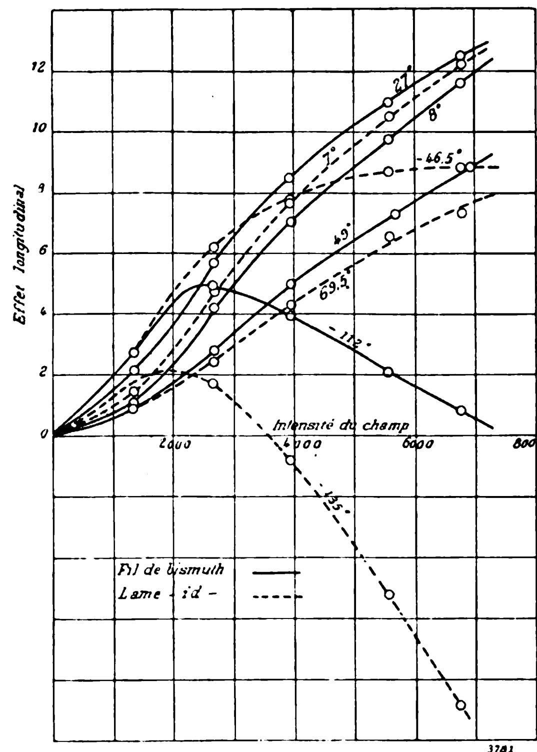


Fig. 2.

plus le champ correspondant au maximum et au changement de signe est intense.

La relation

$$E = \frac{C_1 H^2}{1 + C_2 \sqrt{H^2}}$$

donnée par van Everdingen ne se vérifie plus aux températures très basses.

M. L.

Si le mercure et les amalgames liquides de bismuth présentent le phénomène de Hall, par **A. Amerio**. *Il Nuovo Cimento*, t. I, p. 342, mai 1901.

Amadusi et Leone ont déduit de leurs expériences que l'amalgame liquide de bismuth présente le phénomène de Hall, tandis qu'on ne l'observe pas avec le mercure pur (1).

L'auteur reprenant ces expériences, dans les mêmes conditions, c'est-à-dire avec des lames

(1) L'*Éclairage Électrique*, t. XVI, p. 254, août 1898.

(1) *Il Nuovo Cimento*, t. XIV, p. 124, 1883.

bifurquées du type imaginé par Righi [1] a constaté que les déviations sont inverties avec le champ et jamais avec le courant de la lame. Ceci ne peut s'expliquer seulement par le phénomène de Hall. Amerio pour étudier le phénomène a employé alors la disposition même de Hall. Dans ces conditions, le champ magnétique donne à l'origine une déviation rapide et permanente qui change de signe avec le champ. L'inversion du courant principal produit un changement de valeur de la déviation, mais ne change pas son signe.

Le sens des déviations peut varier d'une lame à l'autre, elles croissent à peu proportionnellement au champ et beaucoup plus rapidement que le courant principal.

Pour des lames très dissymétriques, pour lesquelles le courant à compenser est relativement intense, l'auteur a obtenu des déviations qui sont inverties avec le courant principal, et changent seulement de valeur en inversant le champ.

Si on a soin d'employer l'amalgame filtré à travers une peau de chamois pour écarter les parcelles de bismuth en suspension, on n'observe pas de variation de la résistance avec le champ.

Les actions qui donnent naissance aux divers phénomènes énoncés semblent être au moins de trois sortes, une qui change de signe avec le champ, et dont l'influence prédomine, une qui change de signe avec le courant principal, une autre qui est renversée, soit avec le champ, soit avec le courant.

L'auteur observe que l'on ne peut avoir recours pour l'explication, ni au phénomène de Hall, ni au phénomène thermomagnétique de Nernst [2], ni à l'action du champ sur la résistance, ni au pouvoir thermoélectrique du couple formé par les électrodes et l'amalgame. Il attribue le phénomène au déplacement du conducteur dans la lame, suivant la règle d'Ampère, sous l'action du champ et du courant. Ce mouvement est analogue à celui qui se produit dans le galvanomètre Lippmann, il est compliqué en outre par les différences de température qui donnent naissance à des régions plus conductrices les unes que les autres.

Amerio conclut que l'action que le champ magnétique exerce sur la lame liquide de mercure et d'amalgame est essentiellement pondéromotrice et peut s'expliquer par différentes actions secondaires d'où est exclu le phénomène de Hall [3]. G. GOISOT.

(1) AMADUSI et LEONE. *Rendiconti dei Lincei*, t. IX, p. 252, 1900. ROITI. *Rend. dei Lin.*, t. XII. p. 397, 1881-1882.

(2) NERNST. *Wied. Ann.*, t. XXIX, p. 343, 1886 et t. XXXI, p. 760, 1887.

(1) CHIAVASSA. *L'Elettricista*, t. VI, p. 237, 1897.

DIVERS

Note sur l'électrisation des diélectriques par voie mécanique, par A.-W. Ashton; *Philosophical Magazine* [VI], p. 233, août 1901.

L'appareil employé par l'auteur est des plus simples : il se compose essentiellement de deux disques en laiton qu'on peut superposer et qui sont réunis à un électromètre à quadrants dont la sensibilité est de l'ordre d'une déviation de 4,72 cm. pour une force électromotrice correspondant à un volt. C'est entre ces plateaux (ou disques) qu'on interpose le diélectrique qu'on veut étudier qui, dans les expériences de l'auteur, était une feuille de caoutchouc ne dépassant pas 0,03 cm d'épaisseur; elle était en outre vierge de toute électrisation antérieure. Voici le mode opératoire. On commence par poser sur le plateau inférieur la feuille de caoutchouc ; on replace ensuite très délicatement sur cette dernière le plateau supérieur : on constate dans ces conditions une déviation de l'électromètre de 5 cm environ ; mais en réunissant métalliquement les deux plateaux, l'électromètre revient au zéro. On fait ensuite tomber sur le plateau supérieur d'une hauteur de 76 mm un poids de 2 lb. : on constate immédiatement une vive déviation à droite, qui change ensuite de sens et devient constante. L'électromètre semble ainsi recevoir deux impulsions de sens opposés dont la première est plus vive que la seconde. Il semble très probable, à priori, que la première de ces impulsions provient de la compression de la feuille de caoutchouc et la seconde de l'extension de cette dernière pour reprendre son épaisseur primitive. Pour prouver qu'il en est ainsi, l'auteur produit ces deux opérations successivement. Il commence d'abord par étirer transversalement la feuille de caoutchouc : il constate ainsi qu'avec une feuille de

0,022 inch. d'épaisseur et avec un allongement correspondant à 30 p. o/o de sa longueur primitive, on obtient une déviation correspondant à 7 volts (le plateau supérieur se chargeant (—). Il décharge ensuite (en les réunissant métalliquement) les deux plateaux de manière que l'électromètre revienne à zéro et il cesse d'étirer la feuille de caoutchouc de manière qu'elle reprenne sa longueur primitive : on constate dans ces conditions une déviation correspondant à 10 volts. En retournant la feuille de caoutchouc et en se plaçant dans les mêmes conditions que tout à l'heure, on obtient même résultat : la plaque supérieure se trouve électrisée négativement et *vice-versa*.

Il semble donc que la polarisation d'un diélectrique est produite par une simple pression ou extension. Eugène Néculcéa.

Représentation mécanique des phénomènes électriques et magnétiques dans les corps en repos, par **L. Graetz.** *Dr. Ann.*, t. V, p. 375-394, juin 1901.

Dans tous les corps, tant conducteurs que diélectriques l'éther est considéré comme un solide élastique sans propriétés spéciales. La constante d'élasticité K et la densité ρ sont différentes d'un corps à l'autre : quant à la seconde constante d'élasticité θ, les phénomènes électriques ne permettent d'en rien dire. D'une manière générale, l'éther doit donc être regardé comme compressible.

Il n'est pas nécessaire d'admettre que les équations de Maxwell sont vérifiées dans l'éther libre, d'autant plus que nous ne savons de cet éther libre qu'une chose : c'est que « les vibrations transversales s'y propagent avec la vitesse de la lumière ».

Soient ξ, η, ζ, les composantes du déplacement d'une particule d'éther, σ la dilatation cubique de cette particule : on aura les équations habituelles :

$$\sigma = \frac{d\xi}{dx} + \frac{d\eta}{dy} + \frac{d\zeta}{dz}$$

$$\rho \frac{d^2\xi}{dt^2} = K\left[\Delta\xi + (1 + 2\theta)\frac{d\sigma}{dx}\right].$$

Les déplacements ξ, η, ζ peuvent être comme on le sait de deux espèces : chacun se composera de deux termes $\xi = \xi' + \xi''$... etc. Les déplacements ξ' admettent un potentiel : ils entraînent une dilatation et des cisaillements, mais pas de torsion. Les déplacements ξ'' n'ont pas de potentiel, provoquent des torsions, mais pas de dilatation.

Dans les corps pondérables, conducteurs ou non, il faut encore tenir compte de l'action des molécules pondérables. Nous imaginons que dans chaque élément de volume de l'éther se trouve un noyau (ou plusieurs) et que ce noyau exerce sur l'élément de volume une pression uniforme $p = 2K(1 + \theta)\sigma$ par unité de volume. Cette équation définit une valeur de θ qui sera attribuée à l'éther.

Les composantes des forces résultant de cette pression, qui agiront sur l'unité de volume de l'éther, auront pour expressions :

$$X = -\frac{dp}{dx} = -2K(1 + \theta)\frac{d\sigma}{dx} \dots \quad \text{etc.}$$

De plus, s'il se produit dans chaque élément d'éther une dilatation σ, variable d'un point à l'autre, il s'ensuivra des déplacements relatifs des noyaux. Soient x', y', z' ces déplacements relatifs du noyau, ξ', η', ζ' ceux de l'éther,

$$\xi' - x' = \frac{1}{\alpha^2}\frac{d\sigma}{dx}.$$

Le coefficient α est une caractéristique de chaque substance, qui pour les conducteurs doit être extrêmement grande.

A la force (X, Y, Z) agissant sur l'éther, il faut donc joindre la force égale et opposée agissant sur la matière ; force dont la composante suivant l'axe des x sera :

$$A = 2K(1 + \theta)\frac{d\sigma}{dx} = 2K(1 + \theta)\alpha^2(\xi' - x').$$

Dans les conducteurs, on admettra comme d'habitude que la diminution des déplacements dépendant de la conductibilité λ' est provoquée par une force de frottement, dont on écrira les composantes : $-4\pi\lambda'\frac{d\xi}{dt}$ ... etc.

A l'intérieur des corps matériels, le mouvement de l'éther satisfera aux équations :

$$\rho\frac{d^2\xi}{dt^2} + 4\pi\lambda'\frac{d\xi}{dt} = K\left[\Delta\xi + (1 + 2\theta)\frac{d\sigma}{dx}\right] - 2K(1 + \theta)\frac{d\sigma}{dx}$$

auxquelles on peut donner aussi les formes sui-

vantes :

$$\left.\begin{aligned} \rho \frac{d^2\xi}{dt^2} + 4\pi\lambda' \frac{d\xi}{dt} &= K\left(\Delta\xi - \frac{d\sigma}{dx}\right) \\ \rho \frac{d^2\xi}{dt^2} + 4\pi\lambda' \frac{d\xi}{dt} &= K\left[\frac{d}{dz}\left(\frac{d\xi}{dz} - \frac{d\zeta}{dx}\right)\right. \\ &\quad \left. - \frac{d}{dy}\left(\frac{d\eta}{dx} - \frac{d\xi}{dy}\right)\right] \end{aligned}\right\} \quad (1)$$

Pour identifier ces équations avec celles de Hertz, on posera :

$$\left.\begin{aligned} L' &= K\left(\frac{d\zeta}{dy} - \frac{d\eta}{dz}\right) \\ M' &= K\left(\frac{d\xi}{dz} - \frac{d\zeta}{dx}\right) \\ N' &= K\left(\frac{d\eta}{dx} - \frac{d\xi}{dy}\right) \end{aligned}\right\} \quad (2)$$

(L′, M′, N′) représente le vecteur magnétique de Hertz, mais dans un système d'unités différent, ce que rappellent les lettres accentuées.

Le vecteur magnétique est donc égal à la torsion de l'élément d'éther, multipliée par la constante d'élasticité.

Le vecteur électrique est la résultante de deux autres :

$$(X', Y', Z') = (X'_1 + X'_0,\ Y'_1 + Y'_0,\ Z'_1 + Z'_0).$$

Le premier $(X'_1 \ldots)$ est la vitesse $\left(\frac{d\xi}{dt}\ldots\right)$ d'une particule d'éther ; le deuxième est proportionnel à la force qui s'exerce entre l'éther et la matière. En écrivant l'expression de cette force, qui a été donnée plus haut, sous la forme :

$$A = \rho \frac{2K(1+\theta)}{\rho} \alpha^2 (\xi' - x')$$

et remarquant que $\frac{K}{\rho} = V^2$, il viendra :

$$X'_0 = \alpha\sqrt{2(1+\theta)}\sqrt{\frac{K}{\rho}}(\xi' - x') = \beta\sqrt{\frac{K}{\rho}}(\zeta' - \eta') = \gamma(\xi' - x').$$

Le coefficient γ aura les dimensions de l'inverse d'un temps. Les composantes du vecteur électrique prendront en définitive la forme :

$$\left.\begin{aligned} X' &= \frac{d\xi}{dt} + \gamma(\xi' - x') \\ Y' &= \frac{d\eta}{dt} + \gamma(\eta' - y') \\ Z' &= \frac{d\zeta}{dt} + \gamma(\zeta' - z') \end{aligned}\right\} \quad (3)$$

En différentiant par rapport au temps le système d'équations (2) et en tenant compte de ce que

$$\frac{d}{dy}(\xi' - x') = \frac{d}{dx}(\eta' - y') \ldots \text{ etc.}$$

nous trouverons le deuxième système de Maxwell.

$$\left.\begin{aligned} \frac{1}{K}\frac{dL'}{dt} &= \frac{dZ'}{dy} - \frac{dY'}{dz} \\ \frac{1}{K}\frac{dM'}{dt} &= \frac{dX'}{dz} - \frac{dZ'}{dx} \\ \frac{1}{K}\frac{dN'}{dt} &= \frac{dY'}{dx} - \frac{dX'}{dy} \end{aligned}\right\} \quad (4)$$

Le premier système ne se présente pas tout à fait sous la forme que lui a donnée Hertz, en ce sens que les dérivées par rapport au temps du vecteur électrique total n'y figurent pas, mais seulement celles du vecteur partiel (X'_1, Y'_1, Z'_1).

Conditions aux limites. — Puisque nous admettons l'existence d'une force s'exerçant entre l'éther et la matière, les conditions à la surface de séparation de deux corps (prise pour plan des $x\,y$) seront que, des deux côtés du plan $z = 0$, les fonctions :

$$\xi,\ \eta,\ \frac{d\xi}{dx},\ \frac{d\xi}{dy},\ \frac{d\eta}{dx},\ \frac{d\eta}{dy},$$

$$K\zeta,\quad K\frac{d\zeta}{dx},\quad K\frac{d\zeta}{dy},\quad K\frac{d\xi}{dz},\quad K\frac{d\eta}{dz}$$

soient égales. Par conséquent :

$$L',\ M',\ \frac{1}{K}N'$$

seront aussi égaux de part et d'autre de la surface limite : ce seront là les conditions aux limites pour le vecteur magnétique.

D'autre part,

$$\frac{d^2\xi}{dt^2} + 4\pi\lambda\frac{d\xi}{dt},\quad \frac{d^2\eta}{dt^2} + 4\pi\lambda\frac{d\eta}{dt},\quad \rho\frac{d^2\xi}{dt^2} + 4\pi\lambda\frac{d\zeta}{dt}$$

doivent avoir les mêmes valeurs de part et d'autre de la surface de séparation et par suite il doit en être ainsi de X'_1, Y'_1, $\rho\frac{dZ'_1}{dt} - 4\pi Z'_1$.

Nous étendrons la condition de continuité au vecteur électrique total X′ et Y′, ce qui n'est pas forcé, mais est compatible avec les autres conditions.

Energie. — L'énergie électromagnétique prend la forme :

$$S = \frac{\rho}{2}\int d\tau \left[(X'^2_1 + X'^2_0) + (Y'^2_1 + Y'^2_0) + (Z'^2_1 + Z'^2_0) \right] + \frac{1}{2K}\int d\tau \, (L'^2 + M'^2 + N'^2).$$

La première partie représente l'énergie électrique, égale à la somme de l'énergie cinétique de l'éther et de l'énergie potentielle de la matière pondérable. La seconde partie est l'énergie magnétique, égale à l'énergie potentielle de l'éther.

Dimensions. — Les grandeurs qui figurent dans toutes les équations précédentes sont exprimées dans leur système d'unités naturel. Le vecteur électrique a les dimensions d'une vitesse, le vecteur magnétique celles d'une force mécanique par unité de surface, etc.

Pour revenir à un autre système, par exemple au système électrostatique de Hertz, on désignera par ρ_0 et K_0 la densité et la constante d'élasticité d'un milieu-type, dans lequel les équations établies pour l'éther intramoléculaire sont satisfaites : ce milieu sera l'air par exemple. On prendra

$$\frac{1}{A} = V = \sqrt{\frac{K_0}{\rho_0}},$$

V étant la vitesse de la lumière ; les rapports :

$$\frac{\rho}{\rho_0} = \varepsilon, \quad \frac{K_0}{K} = \mu$$

seront respectivement le pouvoir inducteur et la perméabilité magnétique : il est facile alors de donner aux systèmes fondamentaux la forme de ceux de Hertz, en posant :

$$\sqrt{\rho_0}\, X'_1 = X_1, \; \sqrt{\rho_0}\, X'_0 = X_1 \; \frac{L'}{\sqrt{K_0}} = L, \;\; \lambda' = \rho\lambda.$$

Phénomènes statiques. — Dans l'état statique, les dérivées $\frac{d^2\xi}{dt^2}$ et $\frac{d\xi}{dt}$ doivent être nulles. Le vecteur magnétique dérive alors d'un potentiel, le terme X_0 du vecteur électrique aussi, tandis que l'autre X_1 est nul.

Les vecteurs électriques X sont de la forme :

$$X'_0 = \gamma\,(\xi' - x')$$

ou

$$X'_0 = -g\,\frac{d\sigma}{dx} \quad \text{avec} \quad g = \frac{\sqrt{2(1+\theta)}}{\sigma A \sqrt{\varepsilon\mu}}.$$

Dans l'intérieur du corps, le potentiel électrique est donc $g\sigma$; le coefficient g dépend de la nature du corps.

La densité de l'électricité est $\frac{\gamma}{4\pi}(\sigma - s)$, s étant la dilatation cubique de la matière pondérable. Deux quantités d'électricité sont égales quand $\frac{\gamma}{4\pi}(\sigma - s)$ a des valeurs égales. La densité de l'électricité libre se présente ainsi comme la dilatation relative de l'éther par rapport à la matière.

La quantité d'électricité vraie qui se trouve dans un élément de volume est égale à la quantité d'éther (en mesure relative) qui est entrée dans un élément dilaté. La loi de Coulomb résulte alors du principe de la conversation de l'énergie. Les éléments de volume dans lesquels $\sigma - s$ est différent de o sont les ions ; leur action fait varier dans le voisinage la dilatation σ d'un point à l'autre.

Phénomènes magnétiques statiques. — Les vecteurs magnétiques dérivent d'un potentiel : les composantes de la polarisation sont les doubles des rotations de l'élément d'éther. L'expression appelée par Hertz quantité de magnétisme vrai est ici toujours nulle identiquement et n'a aucun sens. Dans tout corps homogène, la quantité de magnétisme libre est nulle aussi. Le magnétisme libre apparaît seulement à la surface de séparation de deux milieux différents : il consiste en une variation brusque des forces de torsion dans les deux milieux contigus.

La densité du magnétisme libre à la surface de séparation $z = 0$ de deux milieux différents est égale à

$$m_l = \frac{1}{4\pi}(K_1 - K_0)\gamma = \frac{K_1 - K_0}{K_1}\,\frac{N_1}{4\pi},$$

en appelant N_1 la composante normale du vecteur magnétique dans le milieu de constante K_1. Si le milieu (K_0, ρ_0) est l'air, $\frac{K_0}{K_1} = \mu$ est égal à la perméabilité magnétique. Pour les corps paramagnétiques, $K_1 < K_0$, pour les corps diamagnétiques, $K_1 > K_0$. Pour le fer doux, K serait donc

une quantité très petite : dans ce corps l'éther aurait une élasticité comparable non à celle de l'acier, mais à celle du caoutchouc.

Il serait aisé aussi de faire rentrer dans cet ordre d'idées, la théorie des aimants particulaires orientés

Phénomènes stationnaires. — Si l'état du système demeure stationnaire, les vitesses $\frac{d\xi}{dt}$..... doivent être indépendantes du temps et par suite $\frac{d^2\xi}{dt^2}$..... sont nuls.

Dans les corps non conducteurs, le vecteur électrique dérive d'un potentiel ; dans les conducteurs :

$$4\pi\lambda' \frac{d\xi}{dt} = \frac{dM'}{dz} - \frac{dN'}{dy} \cdots\cdots$$

. . . .

Les vitesses $\frac{d\xi}{dt}$..... dérivent d'un potentiel : ce sont les vitesses de dilatation. La constante α des conducteurs a une très grande valeur; $\xi' - x'$ est donc nul, d'où les trois conséquences suivantes :

1° $\frac{d\xi}{dt}$ est égale à la composante totale du vecteur électrique X' ;

2° La densité électrique est donnée par la relation :

$$4\,\pi e = \frac{d\sigma}{dt}$$

3° On doit avoir :

$$\frac{d\xi'}{dt} = \frac{dx'}{dt}$$

Cette équation signifie que dans les conducteurs l'éther se déplace seulement en même temps que la matière pondérable ainsi qu'il arrive toujours dans les électrolytes. L'éther est aussi susceptible d'entrer en rotation autour des molécules matérielles, propriété qui correspond à la susceptibilité magnétique. Par suite des chocs des molécules les unes contre les autres, leur chemin libre est petit et leurs mouvements se transforment plus ou moins rapidement en mouvement calorifique.

La conductibilité λ donne la mesure de la vitesse avec laquelle s'opère la destruction du mouvement rectiligne sans cesse renouvelé des molécules. Cette conductibilité λ est donc une caractéristique, non de l'éther, mais de la matière pondérable.

Le frottement intérieur $\varkappa$ mesure la transmission du mouvement de translation d'une molécule à l'autre; la conductibilité calorifique k, celle de l'énergie calorifique d'une molécule à l'autre; la conductibilité électrique λ mesure la transformation de l'énergie cinétique en énergie calorifique. Ces grandeurs dépendent donc toutes trois des mouvements moléculaires, surtout du nombre de chocs et du chemin libre. L'intensité du courant dans un fil est le produit par la section du fil et la conductibilité λ de la valeur moyenne de la vitesse de translation des molécules dans la direction de l'axe du fil.

Elle dépend de la forme du circuit, des forces extérieures qui s'exercent aux surfaces limites des conducteurs et détermine la distribution du vecteur magnétique à l'intérieur et à l'entour du conducteur. Ou bien, s'il n'y a pas de forces extérieures, l'intensité est déterminée par la distribution et la variation avec le temps du vecteur magnétique, à l'intérieur et à l'extérieur du conducteur. Comme dans la manière de voir de Poynting, rien ne se déplace dans la direction du courant, ni électricité, ni éther.

État variable. — Les variations du vecteur magnétique avec le temps provoquent dans les conducteurs des mouvements de translation des molécules sans cesse détruits et sans cesse reproduits, qui dans leur état moyen produisent les courants d'induction.

Dans les diélectriques, les ondes électriques et optiques se propagent suivant les lois de l'élasticité et seulement par vibrations transversales. Les équations ci-dessus ne rendent pas compte de la dispersion, ce qui a été fait à dessein. Mais on retrouve immédiatement la théorie élastique de la dispersion d'Helmholtz en donnant à la force qui agit entre une molécule et l'éther ambiant l'expression.

$$\pm\, 2K\alpha^2\,(1+\theta)\,(\xi - x),$$

où ξ et x sont les sommes des déplacements linéaires et des torsions.

M. Lamotte.

Le Gérant : C. NAUD.

Tome XXIX. Samedi 2 Novembre 1901. 8e Année. — N° 44.

L'Éclairage Électrique

REVUE HEBDOMADAIRE DES TRANSFORMATIONS

Électriques — Mécaniques — Thermiques

DE

L'ÉNERGIE

INFLUENCE DE LA TEMPÉRATURE SUR LA CAPACITÉ

DES ACCUMULATEURS AU PLOMB

Gladstone et Hibbert avaient annoncé que la capacité des accumulateurs augmente de 50 o/o pour une élévation de température de 22° C entre 15 et 37° [1]. C. Heim compte 3 p. 100 d'augmentation de capacité par degré centigrade [2].

Malgré l'éloquence de ces chiffres, les auteurs qui se sont occupés de la capacité des accumulateurs n'ont pas fait mention jusqu'à présent de la température de leurs expériences, pas plus que les constructeurs qui sont pourtant intéressés à faire des prévisions exactes.

La loi de variation de la capacité en fonction du temps de décharge a été étudiée maintes fois et on a tenté de la représenter par des formules empiriques capables de donner des résultats approchés pour la pratique. L'oubli du facteur température est, croyons-nous, une des causes principales des grandes divergences observées entre les résultats expérimentaux et les capacités calculées soit par les formules empiriques, soit sur les données des constructeurs. Les formules de Peukert $I^n t = K$, de Liebnow $C = \frac{A}{1 + \frac{a}{\sqrt{t}}}$, de Dolezalek $C = \frac{A}{B + I}$, ne peuvent avoir d'utilité pratique que si les constantes ont été déterminées pour une même température, et elles devraient être accompagnées d'un terme de correction. Les nombres de Gladstone et Hibbert et de Heim cités plus haut, montrent

[1] *Elektrotechnische Zeitschrift*, 1892, p. 436.

[2] Brevet français n° 301 874. *Écl. Élect.*, t. XXVII, p. 222, 1901.

bien l'ordre de grandeur de l'erreur commise, mais ils ne concordent pas entre eux et ne sauraient servir de base dans un calcul. Pour fixer les idées sur la correction de température nous avons fait les expériences suivantes.

L'accumulateur d'essai était du *type d'Arsonval Vaugeois* (AV) dont les positives et les négatives sont de formation Planté à grande surface et faible épaisseur de matière active. Il présentait une surface active de 348 dm² sur chaque électrode et 47 dm² de surface apparente. La densité du liquide sulfurique était de 26° B' fin charge à la température de

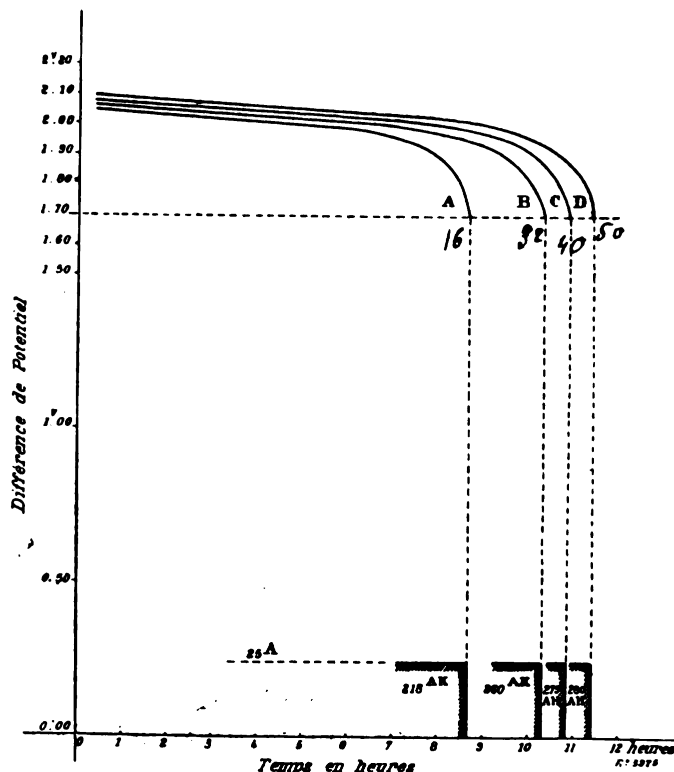


Fig. 2. — Courbes de décharge à diverses températures et au régime de 25 ampères.

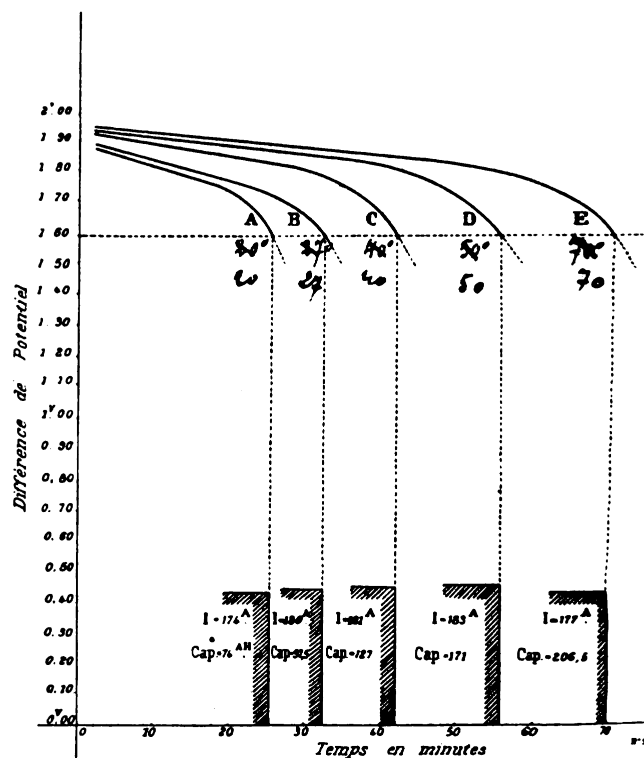


Fig. 1. — Courbes de décharge à diverses températures au régime de 175-180 ampères.

25° C. La température était maintenue constante au sein de l'élément par une circulation d'eau dans une enveloppe en plomb.

Décharges au régime de 175 et 180 ampères. — Les courbes A, B, C, D, E de la fig. 1 montrent la différence de potentiel en décharge aux températures de 20°, 27°, 40°, 50°, 70° C. Les capacités en ampères-heure recueillis comptées jusqu'à 1,60 volt sont indiquées au-dessous. Ces décharges ont été faites dans l'ordre suivant : à 27°, à 55°, à 40°, à 20°, à 70°, afin d'écarter cette supposition que la capacité s'était élevée par une suite de décharges au même régime. L'élément d'essai avait d'ailleurs subi préalablement 30 décharges.

Les capacités recueillies sont à peu près représentées par la droite [(1) de la fig. 3]

$$C_\theta = 20 \text{ Ah} + 2{,}70\,\theta.$$

C_θ étant la capacité à la température θ et 20 ampères-heure la capacité à 0°.

Décharges au régime de 25 ampères. — Les courbes A, B, C, D de la fig. 2 montrent la différence de potentiel en décharge aux températures de 16°, 32°, 40°, 50° C. Elles ont été

faites dans l'ordre suivant : à 32°, à 16_0, à 40°, à 50°. Les capacités en ampères-heure recueillis comptées jusqu'à 1,70 volt sont indiquées au-dessous.

Si l'on représente par une courbe [(2) de la fig. 3] les capacités à ce régime en portant les températures en abscisses, on remarque qu'entre 16 et 32° la courbe est parallèle à la

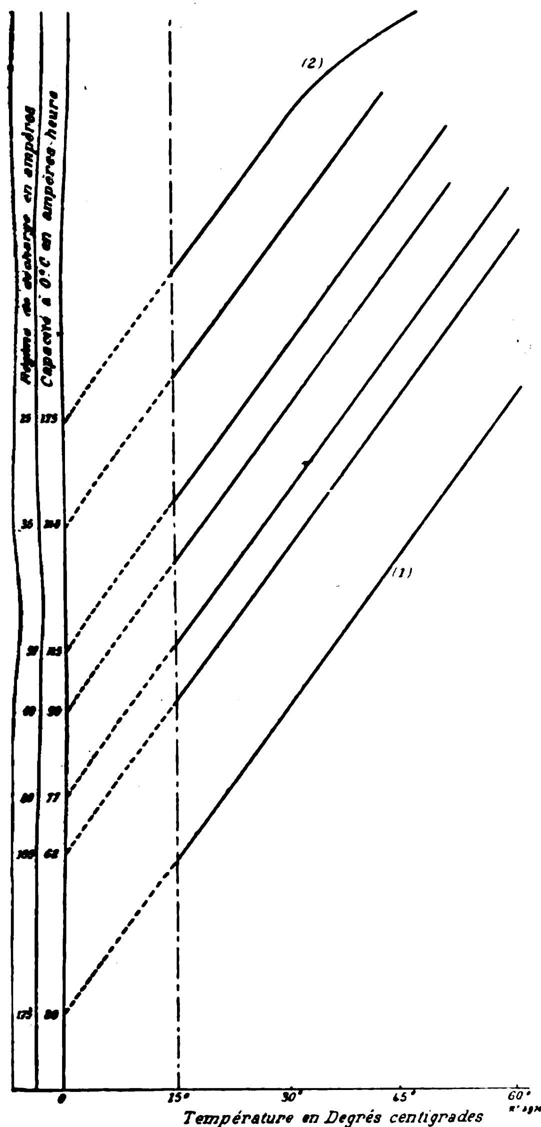


Fig. 3. — Variation de la capacité avec la température.

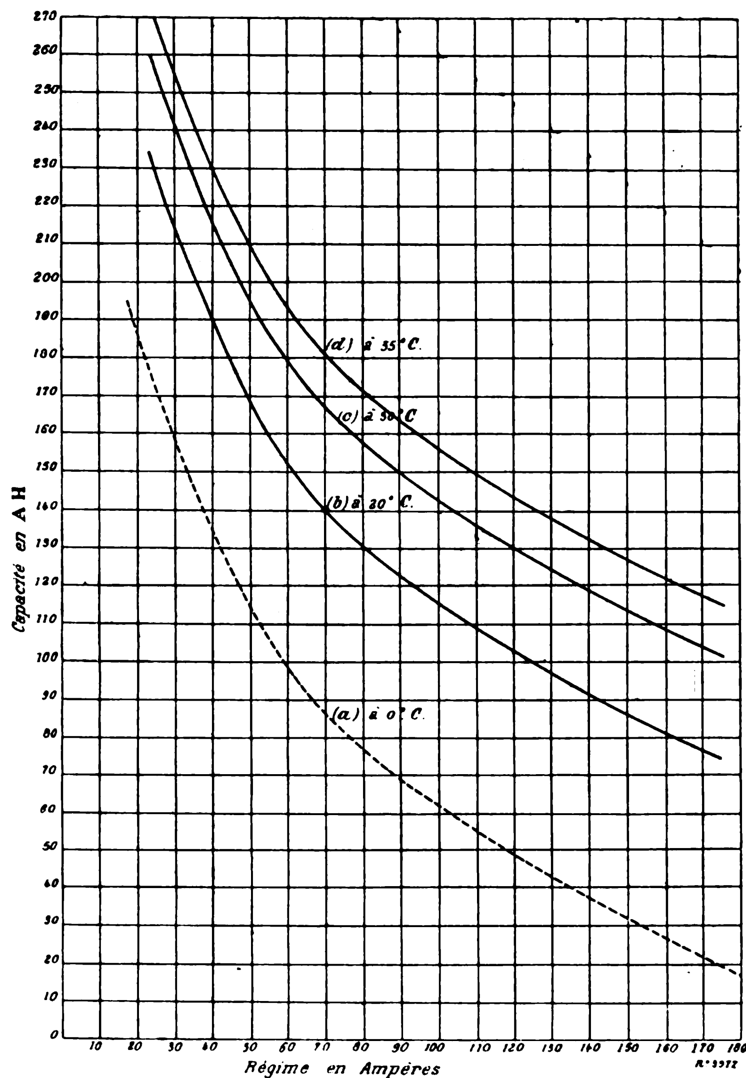


Fig. 4. — Courbes de la capacité en fonction de l'intensité, à diverses températures.

droite (1), puis qu'elle s'incline vers l'axe des x, quand la température s'élève ; ce qui se conçoit facilement, la capacité ne pouvant dépasser certaines limites fixées par la quantité de matière active contenue dans l'élément. La portion droite serait

$$C_\theta = 175 \text{ Ah} + 2{,}70\,\theta.$$

Nous avons vérifié par des décharges aux régimes compris entre 180 et 25 ampères que la

capacité en fonction de θ était représentable par des droites, correspondant chacune à un régime particulier, ayant même coefficient angulaire que les deux précédentes. Nous avons toujours trouvé ce coefficient compris entre 2,55 et 2,80 pour le même élément d'essai et pour une série de vingt-quatre décharges successives. Nous n'avons pas fait d'expériences au-dessous de 15° C., aussi les capacités à 0° prises dans l'équation $C_\theta = C_0 + 2,70\,\theta$ ne sont peut-être pas celles qu'on obtiendrait en réalité. En toute rigueur il est téméraire d'attribuer à la fonction une forme linéaire ; en première approximation et en attendant des expériences plus nombreuses et plus précises, on pourra l'adopter ainsi pour les températures comprises entre 15 et 35° qui sont celles qu'on rencontre en pratique.

Pour un élément présentant 1 m² de surface active sur chaque électrode, on se servirait de l'équation

$$C_\theta^{\text{au régime I}} = C_0^{\text{au régime I}} + 0,770\,\theta$$

qui permettrait de passer à tout autre élément en multipliant les termes par la surface des électrodes. Il s'agit bien entendu ici d'accumulateurs du même type que celui dont nous nous sommes servi, dans lequel la couche de matière active est mince sur les négatives comme sur les positives. Les autres accumulateurs industriels différant de l'acccumulateur AV par l'épaisseur de la matière active, nul doute que leurs coefficients propres ne soient pas les mêmes.

Il est aisé dès lors de rendre comparables toutes les mesures de capacité faites sur un élément ou sur des éléments du même type ; il suffira de déterminer le coefficient angulaire d'une des droites et cela en faisant deux décharges au même régime, à deux températures différentes. Pour chaque autre régime, une seule décharge faite en notant la température déterminera une droite parallèle à la première. Les ordonnées à l'origine de toute la série des droites parallèles ainsi tracées seront les capacités à 0°. La figure 3 donne la série des droites obtenues à divers régimes avec notre élément et qui, prolongées, déterminent les capacités à 0° avec lesquelles nous avons tracé la courbe de capacité en fonction du régime [(a) fig. 4]. La figure 4 montre aussi ce que devient cette courbe à 20°C, à 30°C, à 35° C.

Nous trouvons ici que l'augmentation de capacité avec la température est beaucoup plus considérable dans les décharges rapides que dans les décharges lentes. Au régime de 175 ampères, par exemple, une élévation de 20°C entre 15 et 35° fait augmenter la capacité de 60 Ah à 114 Ah, soit de 90 p. 100 (4,5 p. 100 par degré), tandis qu'au régime de 25 ampères elle augmenterait dans les mêmes conditions de 215 Ah à 269 Ah, soit de 25 p. 100 (1,2 p. 100 par degré).

Il faut remarquer en outre, quand la température s'élève, l'accroissement de la force électromotrice et de la différence de potentiel de décharge et la diminution de la résistance intérieure (voir les courbes des fig. 1 et 2). Mentionnons aussi que l'échauffement du liquide pendant la charge change complètement l'allure de la courbe de différence de potentiel, à cause, d'une part, de la diminution de la résistance intérieure, et, d'autre part, de la perturbation dans la formation des composés suroxygénés liquides.

En résumé, la température modifie profondément les conditions de fonctionnement des accumulateurs ; elle agit favorablement sur le rendement en élevant la différence de potentiel en décharge et en abaissant la différence de potentiel en charge. Son action la plus marquée se manifeste sur la capacité en ampères-heure, c'est-à-dire sur l'utilisation de la matière active qui, comme on sait, n'est jamais complète. Toutes les quantités telles que le temps de décharge, la porosité de la matière active, son épaisseur, la densité de l'électrolyte, qui impliquent des changements dans la diffusion ou dans la vitesse des réactions chimiques font varier l'utilisation de la matière active ; la température agit incontestablement de la même façon.

Ch. LIAGRE.

CONGRÈS D'AJACCIO

DE L'ASSOCIATION FRANÇAISE POUR L'AVANCEMENT DES SCIENCES

C'est en Corse, à Ajaccio, que s'est tenu, du 8 au 14 septembre, le dernier Congrès de l'A. F. A. S. Bien que la longueur du voyage et peut-être aussi les désagréments d'une traversée de douze à dix-huit heures aient fait reculer quelques-unes des personnes que nous étions accoutumé à rencontrer aux Congrès antérieurs, l'attrait du pittoresque, les excursions projetées à l'intérieur de la Corse, les facilités offertes pour permettre de visiter l'Italie à l'aller ou au retour avaient attiré bon nombre d'autres, et, tout compte fait, les congressistes étaient aussi nombreux, sinon plus, que les années précédentes.

Mais s'il y eut compensation au point de vue du nombre, la répartition des congressistes dans les vingt sections du Congrès fut des moins uniformes : tandis que certaines d'entre elles comptaient trente membres et plus, l'effectif des autres se trouvait réduit aux membres du bureau, parfois même incomplet. Sans doute, en raison du manque absolu d'industrie dans la région et, par suite, de l'impossibilité d'organiser des visites techniques, les sections de mécanique, de navigation, du génie civil et militaire, de physique, où chaque année sont faites des communications intéressant nos lecteurs, se trouvaient dans ce dernier cas. Notre compte rendu sera donc nécessairement écourté, plusieurs travaux annoncés n'ayant pas été communiqués par suite de l'absence de leurs auteurs.

Nous donnons ci-dessous l'analyse de quatre communications faites à la section de Physique, présidée par le vice-président, M. Lacour, en l'absence du président, M. Macé de Lépinay, et la reproduction d'un rapport fait à la section d'Électricité médicale par M. le docteur Leduc, président de cette section. Les trois premières de ces communications, dues à M. Turpain, se rapportent aux intéressants travaux que ce physicien poursuit depuis plusieurs années sur les ondes hertziennes et dont nous avons déjà entretenu nos lecteurs ; l'autre, présentée par M. de Rey-Pailhade, touche un sujet des plus délicats, la réforme des unités électriques par l'adoption d'une nouvelle unité de temps, le *millicé* qui vaut la 100 000e partie du jour solaire moyen.

Quant aux communications annoncées dont nous n'avons pu prendre connaissance, nous y reviendrons au moment de la publication des travaux du Congrès.

Les phénomènes de résonance électrique dans l'air raréfié. Fantôme du champ hertzien,
par **A. Turpain.**

Dans une des communications faites l'an dernier au Congrès de Paris, M. Turpain présentait les résultats de son étude du résonateur hertzien enfermé dans un tube à air raréfié [1] ; dans celle-ci il fait connaître les résultats que lui a fourni l'application de la même méthode avec un dispositif expérimental différent.

Ce dispositif [2], représenté par la figure 1, consiste en une cloche de verre V, fixée par du mastic Golaz sur une platine P, renfermant un résonateur R à coupure *c* et à micromètre *m* et

---

[1] Ces résultats ont été également indiqués dans deux notes à l'Académie des Sciences, présentées les 5 et 11 juin 1900 (*L'Écl. Élect.*, t. XXIII, p. 428 et 471, 16 et 23 juin 1900), et rappelés dans la conférence faite par l'auteur, aux séances de Pâques 1901, de la Société de Physique (*L'Écl. Élect.*, t. XXVII, p. 152, 27 avril 1901).

[2] Déjà montré par M. Turpain, à la conférence de la Société de Physique, et décrit dans une note récente à l'Académie des Sciences (*L'Écl. Élect.*, t. XXVII, p. 458, 22 juin 1901.

dans laquelle on fait le vide par le tube *a* ; deux tubes de verre *t* traversant la cloche et dans lesquels passent les fils *f* de concentration du champ hertzien permettent de déplacer la cloche le long de ces fils. Au moyen de secousses, il est possible de faire tourner le résonateur, constitué par un fil d'aluminium et ayant 15 cm de diamètre, de manière à amener le micromètre dans un azimut quelconque, le plan du résonateur restant perpendiculaire aux fils de concentration ; on peut également parvenir à décrocher le résonateur du crochet *v* et le faire reposer sur les tubes *t* comme l'indique la figure 2 ; on peut enfin faire reposer le résonateur sur le plan en verre P. Ajoutons que le micromètre *m* est enfermé dans une ampoule de verre *u*, ce qui permet de maintenir ce micromètre dans l'air à la pression ordinaire si l'on a pris soin de fermer hermétiquement cette ampoule avant l'introduction du résonateur dans la cloche, ou au contraire de le faire fonctionner dans l'air raréfié si l'on a préalablement percé un trou dans cette ampoule.

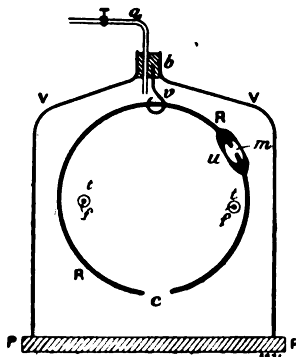


Fig. 1.

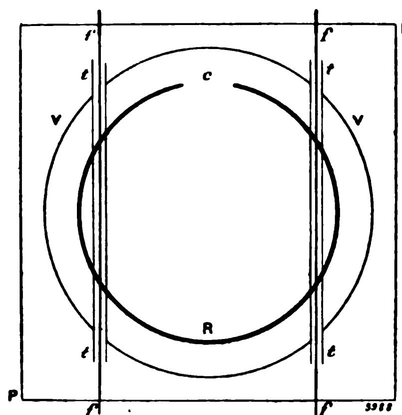


Fig. 2.

En opérant successivement avec le micromètre dans l'air et dans le vide, M. Turpain a constaté que la longueur d'onde des oscillations électriques, mesurée par le déplacement d'un pont sur les fils de concentration, est notablement plus grande dans la première expérience que dans la seconde, et que, dans ce dernier cas, *la longueur d'onde est exactement le double de la longueur du résonateur*. Ainsi s'est trouvée vérifiée pour la première fois d'une manière directe cette relation énoncée par M. Poincaré (1).

L'observation de la luminescence de l'air raréfié contenu dans la cloche a fourni à M. Turpain les résultats suivants :

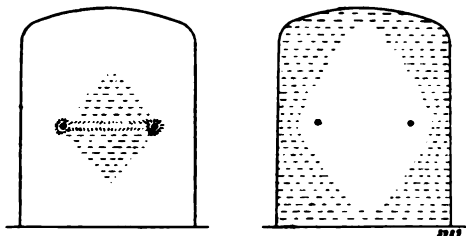
1° On observe une distribution de la luminescence différente suivant que le champ hertzien est *ordinaire* (fils reliés chacun respectivement à une plaque voisine de chaque plateau de l'excitateur) ou *interférent* (fils reliés à deux plaques voisines d'un même plateau de l'excitateur).

La figure 3 schématise l'aspect observé. Dans le premier cas (fig. 3 *a*) les deux fils sont entourés d'une gaine lumineuse mince, très peu vive lorsque l'étincelle excitatrice n'éclate pas, bien plus vive lorsque l'étincelle de l'excitateur se produit ; en même temps une nappe lumineuse s'aperçoit entre les deux fils, nappe coupée parfois de bandes obscures régulièrement ou irrégulièrement espacées ou bien offrant, dans d'autres moments, une luminescence presque uniforme ; les régions au-dessus et au-dessous du plan des fils sont également lumineuses, mais la luminescence va en décroissant depuis la nappe lumineuse limitée par les fils jusqu'au voisinage des parois de la cloche qui ne présente plus de luminescence perceptible (2). Dans le cas du champ

(1) *Les oscillations électriques*, p. 237 (G. Carré, 1894).

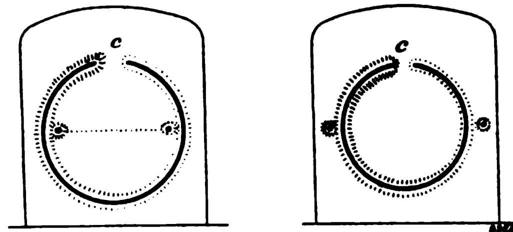
(2) Si l'on approche le doigt de la paroi extérieure de la cloche, la distribution lumineuse ne paraît pas troublée. Si l'on jette un pont sur les fils de concentration et qu'on l'approche graduellement de la portion du champ

interférent (fig. 3 *b*), les fils ne sont entourés d'aucune gaine lumineuse et lorsque les étincelles excitatrices éclatent la portion de la cloche qui présente quelque luminescence est précisément celle qui n'en offrait aucune dans le cas précédent; cette luminescence est d'ailleurs très peu vive et très uniforme; elle n'intéresse que les parties de la cloche immédiatement voisines des parois [1].



a. — Champ ordinaire. *b.* — Champ interférent,

Fig. 3.



a. Fils intérieurs. *b.* Fils extérieurs.

Fig. 4.

2° Le résonateur étant disposé perpendiculairement aux fils de concentration, on observe des phénomènes différents suivant que les fils de concentration sont intérieurs ou extérieurs au résonateur.

La figure 4 indique d'une façon schématique la répartition de la luminescence autour des fils de concentration et du résonateur. Pour ce dernier la distribution concorde très exactement avec celle observée dans les expériences antérieures où le résonateur était enfermé dans un tube à vide; on constate nettement que la luminescence est plus vive au voisinage de la coupure *c* du résona-

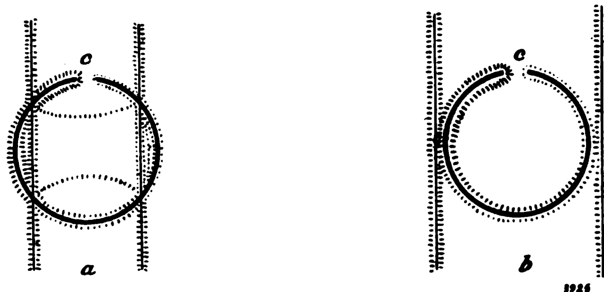


Fig. 5.

teur que dans la partie diamétralement opposée [2]. Les fils de concentration sont entourés d'une gaine dans l'un et l'autre cas, mais tandis que l'on observe une nappe lumineuse suivant l'intersection du plan du résonateur et du plan des fils lorsque ceux-ci sont à l'intérieur du résonateur (fig. 4 *a*), cette nappe disparaît quand les fils sont extérieurs (fig. 4 *b*).

3° Lorsque le résonateur est placé dans le plan des fils on observe une distribution dont la

---

occupée par la cloche, l'aspect lumineux ne se modifie pas pourvu que le pont ne soit pas disposé entre l'excitateur et la cloche, mais au delà de la cloche. Lorsque le pont est approché très près de la cloche, la luminescence s'atténue dans la partie de la cloche la plus voisine du pont, et la majeure partie de la luminescence disparaît dès que le pont est au voisinage immédiat de la cloche pour ne subsister que dans la partie de la cloche la plus éloignée du pont. Si le pont est disposé entre l'excitateur et la cloche, toute luminescence disparaît.

(1) Si l'on approche le doigt de la paroi extérieure, la luminescence se concentre autour du point touché.

La réunion des fils par un pont et le déplacement de ce pont le long des fils ne produit aucun effet sur la luminescence, pourvu que le pont ne soit pas placé entre l'excitateur et la cloche.

(2) Ajoutons que, d'une manière générale, la luminescence observée dans la partie droite de la cloche, tout en affectant une distribution sensiblement symétrique de celle de la partie gauche, est très notablement moins vive.

figure 5 donne une idée, la partie gauche se rapportant au cas où le diamètre du résonateur est supérieur à l'écartement des fils, la partie droite au cas inverse.

Dans l'un et l'autre cas la gaine lumineuse entourant le résonateur est plus vive que lorsque le résonateur est perpendiculaire aux fils. La nappe lumineuse réunissant les fils n'existe plus dans la partie du champ occupée par le résonateur ; dans le premier cas, elle est remplacée parfois par deux bandes lumineuses d'assez faible éclat affectant la forme d'arcs (fig. 5 *a*).

Le rapprochement des phénomènes observés dans les trois conditions qui viennent d'être indiquées montre que « la nappe lumineuse qui, en l'absence du résonateur, s'étend entre les fils en affectant une intensité à peu près uniforme, se concentre au voisinage immédiat du conducteur formant résonateur dès qu'on dispose ce dernier dans le champ des fils ; à l'exception de la gaine qui entoure le résonateur, le cercle limité par ce conducteur est obscur, alors que la luminescence est accrue et la plus vive au voisinage de la coupure du résonateur et entre chaque fil et le résonateur ».

Interrupteur inverseur pour bobines d'induction, par **A. Turpain.**

Lorsqu'une bobine de Ruhmkorff est alimentée par un courant continu interrompu à l'aide d'un interrupteur ordinaire (Foucault ou Wehnelt), des différences de potentiel très inégales se développent à la fermeture et à la rupture du circuit ; c'est ce qu'indique la figure classique ci-jointe (fig. 1) où la courbe supérieure représente la variation en fonction du temps de l'intensité du courant primaire, la courbe inférieure, la variation correspondante de la force électromotrice. La dissymétrie de cette dernière courbe se manifeste par une dissymétrie des effets produits par les deux pôles de la bobine que l'on distingue dès lors par les locutions, fort mal choisies d'ailleurs, de pôle positif et de pôle négatif.

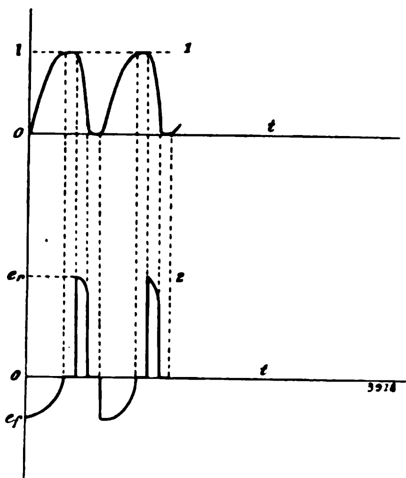


Fig. 1.

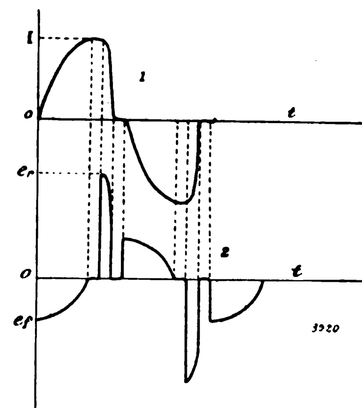


Fig. 2.

Pour faire disparaître cette dissymétrie, il suffit, comme le montre la figure 2, de renverser le sens du courant primaire après chaque interruption ; c'est ce qui est réalisé dans certains interrupteurs comme l'interrupteur de M. Crémieu [1] et celui plus récent de M. Lacroix [2].

S'inspirant de ce dernier, M. Turpain a imaginé un interrupteur de construction très simple remplissant les mêmes conditions ; en voici la description.

Un petit moteur électrique M (fig. 3) imprime à une tige cylindrique TT un mouvement de rotation autour de son axe. Cette tige porte à ses extrémités BB' ainsi qu'aux régions AA' où elle est coudée quatre fois à angle droit, quatre petites broches $F_1 F'_1 F_2 F'_2$, faites d'un fil de cuivre

[1] *L'Éclairage Électrique*, t. XIV, p. 562, 26 mars 1898.
[2] *Archives d'électricité médicale*, 15 février 1900.

et qui sont guidées par des trous de diamètre un peu supérieur percés dans d'épaisses pièces de fer PP' solidement assujetties ; de petites bielles b, b, b', b' taillées dans une mince planchette de bois relient ces broches soit aux goupilles $a'a'$ portées excentriquement par les disques dd soit aux manivelles AA' ; les broches plongent respectivement dans des godets G_1, G'_1, G_2 G'_2 contenant du mercure recouvert de pétrole et reliés par couple aux deux pôles de la source d'alimentation ; deux bornes P et P' fixées sur les traverses en fer et auxquelles aboutissent les extrémités du primaire de la bobine complètent l'appareil. Les tiges F_1 et F_2 étant hors du mercure quand les tiges F'_1 et F'_2 y plongent et réciproquement, il est facile de voir par la figure que dès que le moteur fonctionnera, le courant traversera le primaire de la bobine successivement dans un sens puis dans l'autre après chaque interruption.

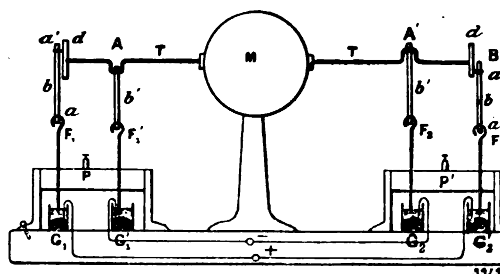
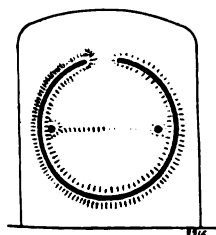


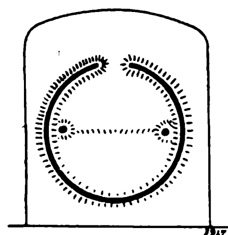
Fig. 3. — Interrupteur inverseur Turpain.

Un modèle de cet interrupteur construit par M. O. Rochefort présente quelques améliorations. Le nombre des tiges et godets de mercure est reduit à un, simplification d'autant plus importante qu'elle présente l'avantage de ne nécessiter pour l'entretien de la bobine qu'un seul condensateur au lieu de deux que nécessitait l'appareil à quatre tiges ; en outre l'unique tige n'a pas besoin de guide, elle se maintient d'elle-même dans la position verticale comme dans le modèle d'interrupteur Rochefort décrit antérieurement ici même ([1]). Le renversement du sens du courant après chaque interruption est obtenu au moyen de l'interrupteur inverseur que portent ordinairement les bobines du Ruhmkorff et qui, dans l'espèce, est monté sur l'arbre du moteur qui entretient en vibration la tige de l'interrupteur.

Sur deux modes d'entretien de l'excitateur de Hertz ; mode d'entretien dissymétrique et mode d'entretien symétrique, par **A. Turpain.**

Dans cette communication, l'auteur revient sur une observation faite au cours des expériences qui sont l'objet de la première communication : la différence de l'intensité de la luminescence de part et d'autre du plan de symétrie de l'excitateur et des fils.


Fig. 1. — Entretien dissymétrique.


Fig. 2. — Entretien symétrique.

Ayant constaté que cette différence s'inverse lorsqu'on inverse le courant primaire de la bobine, la luminescence la plus vive correspondant au plateau de l'excitateur qui est relié au pôle positif ([2]) de la bobine, M. Turpain fut conduit à penser qu'elle était due à la dissymétrie des forces électromotrices induites. C'est alors qu'il construisit l'interrupteur inverseur décrit ci-dessus. Il put s'assurer que dans ces nouvelles conditions l'intensité de la luminescence est la même de part et d'autre du plan de symétrie des appareils et que la cause soupçonnée de la différence observée antérieurement est bien la cause véritable ([3]). Les figures 1 et 2 indiquent schématiquement les phénomènes dans les deux cas.

([1]) *L'Éclairage Électrique*, t. XVII, p. 417, 3 décembre 1898.

([2]) Les deux pôles de la bobine sont distingués par le fait que lorsque l'un des pôles est muni d'un disque conducteur, l'autre d'une pointe, l'étincelle qui éclate entre la pointe et le disque aborde le disque au centre si la pointe est reliée au pôle positif, et que cette étincelle rejoint le disque par les bords si la pointe est négative.

([3]) La même cause doit être évidemment l'origine du phénomène suivant :

Lorsqu'on fait fonctionner pendant quelques instants (2 à 3 minutes) un excitateur électrique, dont l'étincelle éclate dans l'air, on constate par le simple toucher, qu'une des boules entre lesquelles se produisent les étincelles,

De ces résultats l'auteur conclut qu'il y a deux modes d'entretien d'un excitateur électrique, lorsqu'on dispose, pour cet entretien, d'une bobine d'induction alimentée par un courant continu. L'un, qu'il appelle *dissymétrique*, est celui qui résulte de l'emploi d'un interrupteur ordinaire ; l'autre, qu'il nomme *symétrique*, eu égard aux résultats lumineux obtenus, résulte de l'emploi d'un interrupteur inverseur tel que celui décrit plus haut.

A la fin de sa communication M. Turpain discute sur la question de savoir si l'aspect symétrique de l'intensité de la luminescence provient d'une réelle symétrie dans l'état électrique des plaques de l'excitateur à un instant donné ou si elle résulte de la superposition sur la rétine d'effets lumineux non symétriques à chaque instant, mais reprenant périodiquement la même valeur en chaque point symétrique à des intervalles très rapprochés. Certaines considérations lui font adopter la première hypothèse, provisoirement du moins, en attendant que des expériences stroboscopiques qu'il se propose d'effectuer viennent résoudre définitivement la question.

Principes de l'application de la division décimale du jour aux mesures électromagnétiques, par **J. de Rey-Pailhade.**

Poursuivant sa campagne en vue de l'adoption du « cé » (centième de jour) comme unité pratique de temps, M. de Rey-Pailhade propose un nouveau système d'unités mécaniques et électriques dans lequel le millicé (qui vaut 0,864 seconde) remplace la seconde comme unité de temps.

Dans ce système, appelé *système millicé*, *centimètre*, *gramme masse* et désigné en abrégé par *M. C. G*, les unités reçoivent des noms formés en faisant précéder du préfixe *no* les noms actuels des unités pratiques correspondantes ; ainsi *nowatt* désigne l'unité de puissance dans le système M. C. G.

Comme préfixes indicateurs des puissances de 10 par lesquelles on multiplie ces unités, M. de Rey-Pailhade adopte ceux proposés il y a deux ans par M. Blondel, c'est-à-dire :

kilo	duo	trio	quatro	quinto	milli	billi	trilli	quatrilli	quintilli
10^3	10^6	10^9	10^{12}	10^{15}	10^{-3}	10^{-6}	10^{-9}	10^{-12}	10^{-15}

Le tableau ci-joint indique les diverses unités mécaniques et électriques du système C. G. S. et du système M. C. G. La colonne 6 montre que dans ce dernier système les unités pratiques sont ou bien les unités M. C. G. elles-mêmes ou les produits de ces unités par 10^9, sauf toutefois pour la capacité dont l'unité pratique est 10^{-15} unité M. C. G. La colonne 7 fait voir que le rapport des nombres exprimant une même grandeur en unités pratiques de l'un et l'autre système n'est pas très compliqué, les trois coefficients 0,864, $(0{,}864)^2$, $(0{,}864)^3$ suffisant pour passer des anciennes unités aux nouvelles (1).

En se bornant aux grandeurs électriques, on voit par cette colonne que les

Ampères (10^{-1})	multipliés par	$\frac{0{,}864}{10}$	donnent la valeur en	Noampères.
Volts (10^8)	—	— $\frac{(0{,}864)^2}{10}$ —	—	Trinovolts.
Ohms (10^9)	—	— 0,864 —	—	Trionoohms.
Coulombs (10^{-1})	—	— $\frac{1}{10}$ —	—	Nocoulombs.
Kilowatts (10^{10})	—	— $10 \times (0{,}864)^3$	—	Trionowatts.
Microfarads (10^{-15})	—	— $\frac{1}{(0{,}864)^2}$ —	—	Quintillinofarads.

est notablement plus chaude que l'autre, au point qu'on peut tenir à la main l'une des boules, alors qu'il est impossible d'en agir ainsi avec l'autre.

A cette différence de température, correspond une perte inégale de poids pour les deux boules.

Ici encore, on constate que le changement de sens du courant primaire produit l'interversion du phénomène ; la boule la plus chaude est toujours celle qui est réunie au pôle positif de la bobine.

(1) Dans le but de faciliter ce passage, M. de Rey-Pailhade a dressé des tables de multiplication de 1 à 99 de ces trois coefficients.

Tableau synoptique comparatif des systèmes C. G. S. et M. C. G., millicé (1/100000e de jour), centimètre et gramme-masse.

NOMS des grandeurs.	SYMBOLES	DIMENSIONS	VALEURS pratiques du C. G. S.	UNITÉS du système *M.C.G.*	VALEURS pratiques du *M. C. G.*	RAPPORTS DES NOMBRES représentant une même grandeur en C. G. S. et en *M. C. G.*
Longueur	L	L^1	Centimètre	Centimètre	Centimètre	$\frac{\text{L (centim.)}}{\text{L}'\text{(centim.)}} = 1$
Masse	M	M^1	Gramme-masse	Gramme-masse	Gramme-masse	$\frac{\text{M (grammes)}}{\text{M}'\text{(grammes)}} = 1$
Temps	T	T^1	Seconde de temps valant $^1/_{86400}$ de jour. T_s.	Cent millième de jour valant $^1/_{100000}$ de jour. T_m.	Millicé T'_m	$\frac{T_s \text{ (secondes)}}{T'_m \text{ (millicés)}} = 0{,}864$
Vitesse	V	LT^{-1}	Vit. (un centim. par seconde).	Novit. (un cent. par millicé).	Novit	$\frac{\text{V (vits)}}{\text{V}'\text{(novits}} = \frac{1}{0{,}864}$
Accélération	G	LT^{-2}	Accél. (un cent. par sec.-sec.)	Noaccèl. (un cent. pr millicé: millicé)	Noaccèl	$\frac{\text{G (accèls)}}{\text{G}'\text{ (noaccèls)}} = \frac{1}{(0{,}864)^2}$
Force	F	LMT^{-2}	Dyne.	Nodyne	Nodyne	$\frac{\text{F (dynes)}}{\text{F}'\text{(nodynes)}} = \frac{1}{(0{,}864)^2}$
Energie	E	L^2MT^{-2}	Joule (10^7)	Noerg	Trionoerg	$\frac{\text{E (joules }[10^7])}{\text{E}'\text{ (trionoergs)}} = \frac{100}{(0{,}864)^3}$
Intensité	I	$L^{\frac{1}{2}} M^{\frac{1}{2}} T^{-1}$	Ampère (10^{-1})	Noampère	Noampère	$\frac{\text{I(ampères }[10^{-1}])}{\text{I}'\text{ (noampères)}} = \frac{10}{(0{,}864)}$
Tension	U	$L^{\frac{3}{2}} M^{\frac{1}{2}} T^{-2}$	Volt (10^8)	Novolt	Trionovolt	$\frac{\text{U (volts }[10^8])}{\text{U}'\text{ trinovolts)}} = \frac{10}{(0{,}864)^2}$
Résistance	R	LT^{-1}	Ohm (10^9)	Noohm	Trionoohm	$\frac{\text{R (ohms }[10^9])}{\text{R}'\text{ (trinoohms)}} = \frac{1}{0{,}864}$
Quantité	Q	$L^{\frac{1}{2}} M^{\frac{1}{2}}$	Coulomb (10^{-1})	Nocoulomb	Nocoulomb	$\frac{\text{Q (coulombs }[10^{-1}])}{\text{Q}'\text{ (nocoulombs)}} = 10$
Puissance	W	L^2MT^{-3}	Kilowatt (10^{10})	Nowatt	Trionowatt	$\frac{\text{W (kilowatts }[10^{10}])}{\text{W}'\text{ (trinowatts)}} = \frac{0{,}1}{(0{,}864)^3}$
Capacité	C	$L^{-1}T^2$	Microfarad (10^{-15})	Nofarad	Quintillinofarad	$\frac{\text{C(microfarads }[10^{-15}]}{\text{C}'\text{(quintillinofarads)}} = (0{,}864)^2$

Les valeurs de la résistance et de la capacité changent peu, les noampères, les nocoulombs et les trionovolts sont exprimés par des nombres dix fois plus petits environ.

Le trionowatt ne vaut à peu près qu'un dixième de kilowatt; il est égal à 1,55 hectowatt (10^9).

Le trionowatt est équivalent à un travail 13,656 kgm en un millicé, ou encore à 0,211 cheval-vapeur.

Pour le tarage électro-chimique direct des noampèremètres, il suffit de savoir que le courant d'un noampère dépose par *cé* ou 0,24 h, ou encore 14,4 m, un poids d'argent égal à 0,1118 gr ou un poids de cuivre égal à 0,0328 gr.

Une grande calorie-millicé vaut 31,013 trionowatts et par suite un trionowatt vaut 0,0323 grande calorie-millicé.

Ces données suffisent dans la grande majorité des problèmes à résoudre [1].

M. de Rey-Pailhade ne se dissimule pas que la réforme qu'il propose ne peut se faire que progressivement.

» La transformation des appareils avec aiguille indicatrice sur un cadran sera facile; il suffira de mettre un cadran à deux indications. Quant aux autres, ainsi que le disait M. le professeur Pellat, on collera sur la boîte refermant l'appareil la table de transformation nécessaire. Pour les résistances, par exemple, il suffira d'avoir la table de multiplication de 0 à 99 du facteur 0,864. Le temps mis pour la transformation étant absolument négligeable.

» Puis enfin, l'usage scientifique des appareils divisant le jour décimalement s'étant répandu largement, on construira des appareils électro-magnétiques gradués directement dans cette division. »

M. de Rey-Pailhade ajoute :

« Cet aperçu rapide montre que cette transformation ne présente aucune difficulté sérieuse. Il suffira d'un peu de patience et de la bonne volonté de la part des électriciens. En perfectionnant le système actuel, sans y introduire la division décimale du jour, on commettrait à notre sens une très grave faute.

» Mais tous les physiciens ont l'esprit trop éclairé pour ne pas marcher franchement dans la voie du Progrès. »

Cette dernière considération ne peut manquer d'amener des adhérents aux propositions de M. de Rey-Pailhade. Mais, d'autre part, l'extension actuelle des applications de l'électricité et l'emploi courant des mesures C. G. S, dans l'industrie, rend la réforme très délicate aujourd'hui et de plus en plus difficile dans l'avenir, les adversaires ne peuvent donc manquer non plus. Nous laissons à d'autres plus autorisés que nous le soin de prendre parti. Cependant, si la question, vivement discutée il y a deux ans, de la création de noms nouveaux pour la dénomination des unités C. G. S. elle-même venait à être de nouveau soulevée, nous n'hésiterions pas à nous ranger dans le premier camp : changement pour changement, nous préférerions celui qui est le plus logique.

Rapport sur l'électrochimie médicale, par le Dr **Stéphane Leduc.**

Concis et substantiel, ce rapport se prête mal à l'analyse; il faudrait tout mettre. C'est le parti que nous prenons en en reproduisant ci-dessous [2] la majeure partie et en nous bornant à dire ici quelques mots sur son contenu.

---

[1] Outre le nowatt, M. de Rey-Pailhade propose également une autre unité de puissance, particulièrement applicable aux machines. Voici ce qu'il dit à ce sujet :

« Le cheval-vapeur est une unité de puissance indigne du xx[e] siècle. Appelons *nochevau*, le travail de 100 kgm effectués pendant un *cent-millième* de jour, valant 0s,864. Le travail de un nochevau pendant un jour entier est de 100 × 100 000, soit 10 000 000 de kgm, nombre facile à retenir, puisqu'il rappelle celui de la définition du mètre.

Pour la grande industrie, on calculera les travaux en 10 millions de kgm, ce qui s'obtiendra en opérant avec la valeur de la machine en *nochevaus*.

On dresse facilement le tableau suivant :

100 kgm au cent-millième de jour est égal à	1,000	nochevau.
1 cheval-vapeur est équivalent à	0,648	—
1 Poncelet	0,864	—
1 Kilowatt	0,882	—
Une grande calorie au cent-millième de jour	4,325	—
10^9 Ergs (1 milliard) au cent-millième de jour	0,102	—

En hydraulique, le produit du débit en litres (au cent-millième de jour) par la chute en mètres, donne la puissance en nochevaus à la virgule près.

Pour s'habituer à la nouvelle unité, on inscrirait les deux notations l'une à la suite de l'autre comme 100 chevaux-vapeur (64,8 nochevaus).

[2] RAPPORT DE M. LEDUC. — L'électrochimie médicale est une application particulière de l'électrolyse ; les défi-

Après un exposé succinct des idées modernes sur l'électrolyse et le rappel de quelques définitions, le rapporteur décrit les diverses électrodes que l'on peut employer dans l'électrochimie médicale et les différents effets qui découlent théoriquement de leur emploi ; il indique ensuite les

---

nitions qui s'y appliquent et les lois qui la régissent sont celles qui sont indiquées et étudiées dans les traités de physique auxquels nous renvoyons : nous n'avons pas à nous y arrêter.

Des modifications ont été apportées aux idées anciennes sur le rôle du courant dans l'électrolyse (hypothèse de Grothus) par suite de la conception introduite dans la science par Arrhénius sur la nature des solutions salines. Aussi croyons-nous devoir rappeler celle-ci.

Théorie de la dissociation électrolytique d'Arrhénius. — D'après M. Arrhénius, c'est le dissolvant lui-même, c'est l'eau qui décompose la molécule, qui la dissocie en ses ions, qui peuvent être des corps simples ou des radicaux. L'énergie nécessaire à cet effet est une partie de la chaleur absorbée dans le phénomène de la dissolution ; on l'appelle chaleur d'ionisation. Par suite de la dissociation d'une partie seulement des molécules, une solution électrolytique de concentration moyenne, de chlorure de sodium par exemple, contient trois sortes de particules ou moles : des molécules non dissociées NaCl, électriquement neutres, des anions ayant une charge électrique négative $\overline{Cl}$, des cations ayant une charge positive $\overset{+}{Na}$. Lorsque, dans un électrolyte, on plonge une électrode positive et une électrode négative, suivant les actions électrostatiques, l'anode attire les ions électronégatifs et repousse les ions électropositifs ; la cathode attire les cations positifs et repousse les anions négatifs ; cédant à ces actions les ions se mettent en mouvement, transportent leurs charges aux électrodes et établissent le courant électrique qui résulte ainsi du transport des charges par la masse pondérable des ions. L'hypothèse d'Arrhénius admet, dans les solutions, la présence d'ions qui s'y déplacent librement, tels que le chlore et le sodium ; mais à l'état d'ions, porteurs de charges électriques, le chlore, le sodium, etc., n'ont point les propriétés chimiques qu'ils ont à l'état neutre ou d'éléments, état qu'ils prennent au contact des électrodes en abandonnant leurs charges.

Fonctions chimiques et physiologiques des ions. — Le groupement ionique des atomes est important à considérer car les réactions chimiques consistant dans la charge et la décharge électrique des ions dépendent essentiellement du groupement ionique ; par exemple, le nitrate d'argent précipitera à l'état de chlorure d'argent l'ion $\overline{Cl}$, mais non le chlore des ions complexes chlorique $\overline{ClO^3}$, ou chloracétique $C^2H^3\overline{Cl}O^2$. Les propriétés chimiques des substances dissoutes dépendent, non pas de la nature même de ces substances, mais des ions qu'elles forment, c'est ainsi que les réactions chimiques du soufre varient dans une solution suivant qu'il s'y trouve à l'état d'ion soufre, d'ion sulfite, d'ion sulfurique ou d'ion persulfurique.

Les actions physiologiques et toxiques sont aussi des actions ioniques, l'arsenic agit très différemment, suivant qu'il est à l'état d'ion arsénieux, arsénique ou cacodylique : le phosphore, suivant qu'il est à l'état d'ion phosphore, phosphoreux ou phosphorique.

Vitesse des ions. — Si l'on sépare en deux par une cloison poreuse une cuve électrolytique contenant une solution de sulfate de cuivre par exemple, après la décomposition d'un ou plusieurs équivalents, on trouve une répartition inégale de la perte. Pour le sulfate de cuivre, les deux tiers de la perte portent sur la cuve négative, un tiers seulement sur la cuve positive.

Il est facile de conclure de là que les ions se meuvent en sens inverse avec des vitesses différentes et l'on voit que les pertes de concentration n à la cathode et $1 - n$ à l'anode sont dans le rapport de la vitesse U des anions et à celle V des cations ; $\frac{n}{1-n} = \frac{U}{V}$ et l'on a dans les rapports des pertes de concentration le moyen de déterminer les vitesses relatives des ions.

Conductibilité des électrolytes. — On appelle conductibilité spécifique γ d'un électrolyte, la conductibilité (inverse de la résistance) en ohms d'un cube de cet électrolyte d'un centimètre de côté.

On appelle conductibilité moléculaire μ celle d'un électrolyte contenant une molécule, placé entre deux électrodes parallèles et distantes d'un centimètre ; elle est égale à la conductibilité spécifique multipliée par le volume moléculaire $\mu = \gamma v$.

La conductibilité moléculaire varie avec la dilution et, par conséquent, avec le volume moléculaire. Lorsque la dissociation est complète, la conductibilité moléculaire atteint son maximum, on la représente alors par le symbole μ_∞.

En d'autres termes, la conductibilité électrolytique est proportionnelle au nombre des ions, à leurs vitesses et à leurs charges.

Conductibilité électrique des êtres vivants. — Les tissus vivants imprégnés de solutions salines sont des électrolytes, les connaissances acquises par l'étude des électrolytes leur sont directement applicables.

Courant électrique dans le corps de l'homme. — La conductibilité électrique du corps humain est la conductibilité électrolytique.

Actions polaires et interpolaires. — Dans l'étude des actions chimiques exercées par le passage du courant dans le corps de l'homme, il est avantageux de distinguer les actions polaires et les actions interpolaires.

Électrodes. — Les électrodes employées en médecine sont, soit des électrodes inattaquables : charbon, pla-

résultats des expériences, les critiques faites à celles-ci et les méthodes préconisées par lui pour se mettre à l'abri des critiques; puis il s'occupe de la conductibilité du corps humain, montre que

---

tine, etc. ; soit des électrodes attaquables : zinc, cuivre, etc. ; soit des électrodes électrolytes formées par des solutions aqueuses de sels, d'acides ou de bases.

Électrodes inattaquables. — Dans le cas des électrodes inattaquables, les anions, après avoir abandonné leurs charges au contact de l'anode, deviennent des anhydrides qui, pour reconstituer les acides correspondants, enlèvent l'hydrogène aux tissus qu'ils détruisent, $2Cl + H^2O = 2HCl + O$, il se dégage de l'oxygène. Les cations, après contact avec la cathode, prennent les caractères chimiques que nous connaissons aux métaux alcalins, enlèvent le groupe hydroxyle aux tissus qu'ils détruisent également, et donnent lieu à un dégagement d'ydrogène, $K + H^2O = KOH + H$.

Électrodes attaquables. — Si l'on emploie des électrodes attaquables par les produits de l'électrolyse, les phénomènes à l'anode consistent d'abord dans la formation d'acide avec destruction des tissus, puis attaque et dissolution de l'électrode par les acides formés, il en résulte un sel du métal de l'électrode, qui donne lieu aux phénomènes présentés par les électrodes électrolytes.

Électrodes électrolytes. — Lorsqu'on emploie des électrodes électrolytes, le double courant des ions s'établit entre l'anode et la cathode métallique, il en résulte un échange ionique aux surfaces de séparation du corps et des électrodes électrolytes, à l'anode le corps abandonne ses anions et reçoit les cations de l'électrode ; à la cathode, le corps abandonne ses cations et reçoit les anions de l'électrode. On peut donc introduire dans le corps des cations à l'anode des anions à la cathode.

Les électrodes électrolytes peuvent être formées par des solutions de sels, d'acides ou de bases.

Électrodes formées par les solutions salines. — On sait que tous les sels, formés d'un radical acide ou halogène $\overline{R}$ électronégatif et d'un métal $\overset{+}{M}$ électropositif, peuvent être représentés par la formule $\overline{R}^{m}\overset{+}{M}^{n}$. Le métal pénètre dans le corps à l'anode, le radical acide à la cathode, le résultat est donc de changer la nature des sels de l'organisme ; l'acide se trouve changé sous la cathode, le métal sous l'anode ; à moins que le radical et le métal ne soient les mêmes que ceux de l'organisme, comme c'est à peu près le cas lorsqu'on emploie pour électrodes des solutions de chlorure de sodium, les effets produits sous les électrodes sont alors réduits à un minimum ; ils ne sont point cependant supprimés, car le chlore n'est pas le seul radical électronégatif de l'organisme, le sodium n'est pas le seul ion électropositif, et la substitution exclusive du chlorure de sodium à tous les sels de l'économie, a des conséquences qui peuvent aller jusqu'à la mort des tissus. En résumé, les électrodes formées de solutions salines introduisent sous la cathode leurs radicaux acides qui agissent en grande partie sur les tissus comme les sels de sodium correspondants, iodure, sulfate, phosphate, sulfure, bichromate, salicylate, etc., de sodium. Sous l'anode s'introduit le métal du sel, il agit surtout comme le ferait son chlorure. On peut donc présumer les effets produits par les ions d'un sel lorsque l'on connaît les actions sur les tissus des sels de sodium, de son acide et du chlorure de son métal.

Électrodes formées par les solutions acides. — Toutes les solutions acides ont le même cation : l'hydrogène ; elles constituent donc toutes les anodes équivalentes. Si les solutions sont suffisamment étendues pour éviter l'action directe de l'acide sur la peau, l'acide chlorhydrique, l'acide sulfurique, l'acide phosphorique, les acides organiques, etc., employés comme anodes, produiront exactement le même résultat.

Après le passage du courant, quel que soit l'acide employé, il y a, à l'anode, substitution aux métaux des tissus d'hydrogène qui avec les radicaux négatifs des sels de l'économie, reconstitue les acides correspondants. Les chlorures sont remplacés par de l'acide chlorhydrique, les sulfates par de l'acide sulfurique, les phosphates par de l'acide phosphorique, etc.

Électrodes basiques. — Toutes les solutions basiques ont le même anion, l'hydroxyle $\overset{+}{OH}$; elles constituent donc toutes des cathodes équivalentes. Si la solution est assez étendue pour éviter l'action caustique directe sur la peau, la potasse, la soude, la lithine, les alcalis organiques, employés comme cathodes, produiront exactement les mêmes résultats.

Après le passage du courant, quelle que soit la base employée, il y a à la cathode substitution aux radicaux acides des tissus de l'hydroxyle $\overline{OH}$ qui, avec les métaux de l'économie, reconstituent les bases correspondantes. Les sels de sodium sont remplacés par de la soude, ceux de potassium par de la potasse, etc.

Effets interpolaires. — Le double courant par suite duquel les anions remontent vers l'anode, les cations descendent vers la cathode, existe dans la profondeur des tissus partout où passe le courant électrique ; il en résulte, à chaque surface de séparation de deux milieux chimiques différents, une modification dans la constitution chimique de ces milieux. Considérons comme exemple le passage du courant à travers les globules du sang, dont les sels sont surtout des sels de potassium, alors que ceux du sérum sont des sels de sodium.

Le passage du courant dans le sang a pour résultat de remplacer par du sodium le potassium des globules.

Lorsque le courant électrique passe d'un milieu chimique dans un autre, on peut désigner le premier milieu comme positif, le second comme négatif; le résultat du passage du courant est, dans le milieu positif, le remplacement de ses anions par ceux du milieu négatif et, pour ce dernier, le remplacement de ses cations par ceux du milieu positif.

celle-ci permet de déterminer la vitesse des ions dans l'organisme et termine en insistant sur les avantages que peut retirer la médecine de l'application raisonnée de l'électrolyse.

J. Blondin.

Démonstrations expérimentales. — Les notions développées jusqu'ici sont déduites de la théorie moderne de l'électrolyse, en raison de la proposition que nous avons énoncée en disant : *les tissus vivants sont des électrolytes, et les connaissances acquises par l'étude des électrolytes leur sont directement applicables.* On doit rechercher maintenant dans quelle mesure l'expérience confirme les déductions de la théorie.

Emploi de l'analyse chimique pour constater la pénétration électrolytique des ions. — La plupart des auteurs qui ont étudié expérimentalement l'absorption électrolytique ont cherché à démontrer cette absorption en révélant, par l'analyse chimique, la présence des ions absorbés dans les urines ou dans les tissus.

Constatation de l'absorption électrolytique par la production d'effets physiologiques. — On nous démontre l'absorption électrolytique par la production d'effets physiologiques : convulsions avec la strychnine, mydriase avec l'atropine, anesthésie avec la cocaïne, sudation avec la pilocarpine, etc.

Objections aux méthodes précédentes. — Aux méthodes de la constatation chimique et de la production des effets physiologiques, on objecta que l'absorption se faisait par la peau, sans l'intervention du courant; et l'absorption électrolytique continua à être niée par la grande majorité des physiologistes et des médecins.

Méthode de la mise en série des animaux. — Au Congrès de l'Association Française pour l'avancement des Sciences de Paris, en 1900, et au Congrès international d'électrobiologie, nous avons présenté une méthode dans laquelle, employant des ions toxiques, les animaux étaient mis en série sur le même courant, de façon que le courant entrât dans l'un des animaux et sortît de l'autre par l'électrode ayant l'ion toxique. Dans ces expériences, un lapin ayant une anode de sulfate de strychnine ou une cathode de cyanure de potassium est rapidement tué, tandis que les animaux témoins, soumis au même courant et aux mêmes contacts, mais ayant la strychnine à la cathode, le cyanure de potassium à l'anode, résistent indéfiniment.

Des expériences analogues auraient donné à MM. Charpentier et Guilloz des résultats identiques.

L'objection relative à l'absorption cutanée par simple contact se trouve éliminée dans ces expériences par la résistance des animaux témoins.

Méthode des ions colorés. — A la séance de la Société française d'Electrothérapie d'avril 1901, nous avons présenté un autre mode de démonstration de l'introduction électrolytique des ions consistant dans l'emploi d'ions colorés ou d'ions très actifs marquant les traces de leur passage. On place, par exemple, sur chaque bras une électrode formée d'un tampon de coton hydrophile imprégné d'une solution de permanganate de potasse, on fait passer, de l'une à l'autre, pendant deux à cinq minutes, un courant d'un demimilli-ampère par centimètre carré; on lave bien chacun des deux bras; il ne reste sous l'anode aucune trace de l'ion permanganique, tandis que sous la cathode, la peau est ponctuée de cercles d'un brun noir, nettement circonscrits, d'un diamètre d'autant plus grand que le courant a passé plus longtemps; ils mettent plusieurs semaines à disparaître et résultent de la pénétration dans les tissus de l'ion permanganique.

Le courant ne pénètre que par les orifices glandulaires. — L'introduction électrolytique de l'ion permanganique, qui n'éprouve aucune diffusion spontanée dans l'organisme et reste où l'a introduit la force électromotrice, montre que le courant ne pénètre que par les glandes. Les ions très actifs, l'hydrogène, l'hydroxile OH, le soufre des sulfures, l'ion chromique, etc., donnent la même démonstration; leurs actions caustiques et irritantes sont exactement réparties suivant la topographie glandulaire.

Résistance électrique du corps humain. — De nombreux travaux ont été publiés sur la résistance électrique du corps sans jeter beaucoup de lumière sur cette question. Il nous paraît plus avantageux de considérer la conductibilité en inverse de la résistance.

Méthode pour l'étude de la conductibilité. — Au Congrès de l'Association française pour l'avancement des Sciences, et au Congrès international d'électrobiologie, Paris, 1900, nous avons présenté, pour l'étude de la conductibilité du corps humain, une méthode consistant à constituer un circuit avec une force électromotrice constante et une résistance du reste du circuit négligeable par rapport à la résistance du corps; si l'on porte les intensités ainsi obtenues en ordonnées et les temps en abscisses, on obtient une courbe qui est celle de la conductibilité du corps aux divers temps de l'expérience. Cette courbe montre comment varie la conductibilité avec les conditions qui l'influencent, et comment en particulier elle varie avec les différents ions introduits dans la peau.

Vitesse des ions dans l'organisme. — Ainsi que nous l'avons fait remarquer dans notre communication à la Société française d'Électrothérapie, les parties variables de la courbe, correspondant aux périodes initiales de l'introduction d'un ion, expriment la proportion dans laquelle l'ion en question est entré dans la peau; les conductibilités sont alors proportionnelles aux nombres des ions introduits. Lorsque la courbe prend son état permanent, la peau est comme saturée de l'ion nouveau; il s'élimine par absorption générale avec sa vitesse d'introduction, et sa proportion sous l'électrode, dans les tissus dont il modifie la résistance, est devenue invariable. La courbe exprime alors la vitesse des ions, les différentes conductibilités se trouvent proportionnelles aux vitesses des différents ions. Cette méthode permet donc de comparer les vitesses des ions dans les tissus vivants, ou les résistances que l'organisme oppose aux déplacements ioniques. Les vitesses relatives des ions dans l'économie ne sont pas les mêmes que dans les solutions aqueuses et semblent en rapport avec les propriétés physiologiques ou pathologiques des

LA TRACTION ÉLECTRIQUE SUR LES CHEMINS DE FER

MILAN-GALLARATI-VARÈSE-PORTO CERESIO-LAVENO-ARONA

La pénurie de charbon et l'abondance des chutes d'eau en Italie ont amené les diverses compagnies de chemins de fer de ce pays à se préoccuper vivement de la substitution de la traction électrique à la traction à vapeur sur les grandes lignes ferrées. Secondées d'ailleurs par le gouvernement italien, la Société des chemins de fer méridionaux, qui exploite aussi le réseau de l'Adriatique, et la Société des chemins de fer de la Méditerranée sont entrées résolument dans cette voie et à titre d'essais ont équipé plusieurs de leurs lignes pour l'exploitation par trains électriques.

Ces essais sont d'autant plus intéressants que jusqu'ici l'application de l'électricité à la traction sur les chemins de fer a été généralement dictée par des conditions particulières : suppression de la fumée dans le cas des métropolitains et des lignes à longs tunnels, service intensif et rapide imposé par la concurrence de lignes de tramways voisines, impossibilité d'emploi de locomotives à vapeur à adhérence sur certaines lignes de montagnes.

La diversité des moyens adoptés pour réaliser cette application leur donne encore un nouvel intérêt, cette diversité ne pouvant manquer de fournir à bref délai des renseignements utiles sur les facilités et l'économie d'exploitation de chacun d'eux. Tandis en effet que sur le réseau de l'Adriatique la Société des chemins de fer méridionaux a adopté les courants triphasés à 3 000 volts pour l'alimentation des moteurs des véhicules, la Société des chemins de fer de la Méditerranée a préféré l'alimentation par courant continu à 650 volts ; en outre, toutes deux ont adopté des voi-

ions; c'est ainsi que l'organisme oppose une résistance très faible au déplacement des ions lithium et carbonique, une résistance très grande au déplacement des ions calcium, phosphorique et urique.

Modification de l'excitabilité.— Dans nos publications de 1900 nous avons montré que l'excitabilité des nerfs superficiels était modifiée profondément et de façons diverses par les différents ions.

Différentes actions des ions sur la peau. — Les ions agissent de façons très différentes sur la peau : l'ion lithium donne du purpura, l'ion arsénieux des bulles herpétiformes, l'hydroxyle OH des saillies acnéiformes, l'ion chromique des papules et des plaques, on peut ainsi produire les formes les plus variées des érythèmes et des dermatites.

Diffusibilité spontanée des ions. — La diffusion spontanée des ions introduits dans les tissus par la force électromotrice diffère beaucoup d'un ion à l'autre : tandis que l'ion permanganique ne diffuse absolument pas, on peut suivre à l'œil, sous la peau, la diffusion de l'ion chromique qui se fait avec une vitesse d'environ un millimètre par minute; certains ions, comme l'ion morphine, diffusent rapidement dans l'organisme entier.

Utilisation thérapeutique. — L'introduction électrolytique des ions est susceptible de nombreuses utilisations thérapeutiques, locales et générales. L'absorption générale, établie par les méthodes que nous avons mentionnées, se trouve suffisante, dans nos expériences, pour amener rapidement la mort des lapins. Nous avons plusieurs fois, sur nous-même, provoqué des phénomènes d'intoxication par l'introduction électrique des ions, en particulier de la morphine.

Dosage des ions introduits. — Les lois de Faraday permettent un dosage très exact du poids P des ions introduits; il est égal à la quantité d'électricité en coulombs Q, multipliée par l'équivalent électrochimique de la substance : $P = Qe = Ite$; e équivalent électrochimique, I intensité et t temps pendant lequel passe le courant.

Vitesse d'introduction. — Aucune méthode ne permet de régler aussi bien la vitesse d'introduction des médicaments qui, dans la méthode électrolytique, est exactement proportionnelle à l'intensité du courant. Si l'on emploie des substances peu actives, iode, lithium, etc., on emploiera des électrodes de très grande surface permettant des intensités très élevées, telles que les électrodes Bains. Si l'on emploie des substances très actives, et surtout pour les applications locales, on choisira des électrodes de surfaces plus restreintes.

Les applications thérapeutiques générales et locales, dont est susceptible la méthode d'introduction électrolytique des médicaments, sont innombrables ; on peut, grâce à elle, exercer non plus superficiellement, mais dans la profondeur des tissus normaux ou pathologiques, une action antiseptique, analgésique ou spécifique quelconque.

Les progrès de l'électrochimie, permettant de prévoir et de diriger les effets produits, offrent avec précision une quantité d'applications nouvelles, constituant pour l'électricité médicale une source de moyens aussi précieux que variés. Il est désirable que les résultats de ces applications soient apportésau Congrès d'Ajaccio où cette question est mise à l'ordre du jour.

tures automotrices à accumulateurs pour l'exploitation des lignes dont le trafic était trop faible pour justifier les dépenses d'une installation fixe.

C'est sur la ligne à voie unique s'étendant sur 109 km de longueur de Lecco à Chiavenna en passant par Sondrio, dans le voisinage du lac de Côme, que seront utilisés les courants triphasés. L'usine génératrice hydraulique, située à Morbegno fournira directement des courants à 30 000 volts qu'une ligne aérienne à trois conducteurs d'un diamètre de 7 mm conduira aux sous-stations où des transformateurs statiques abaisseront la tension à 3000 volts ; de là l'énergie électrique sera distribuée aux moteurs des voitures par deux fils aériens de 8 mm de diamètre, le troisième conducteur étant constitué par les rails. Les prises de courant s'effectueront par deux archets et, suivant la manière dont les courants seront distribués aux quatre moteurs de chaque voiture, on pourra obtenir soit une vitesse de 60 km : h, soit une vitesse de 30 km : h ; cette dernière sera celle des trains de marchandises sur tout le parcours et celle des trains de voyageurs sur les parties en rampe accentuée. Cette installation actuellement en voie d'achèvement a été entreprise par la maison Ganz de Budapest ; dans un article récemment publié dans ce journal (¹), M. von Kando a montré que malgré la haute tension secondaire elle ne pouvait présenter de dangers et dans un article plus récent encore M. E. Cserhati (²) en a discuté l'économie.

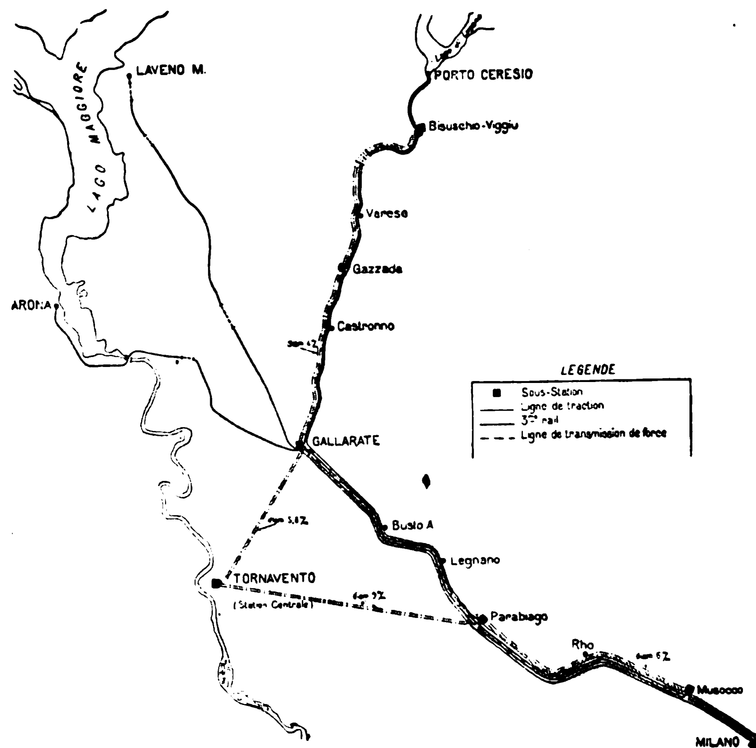


Fig. 1. — Plan du réseau.

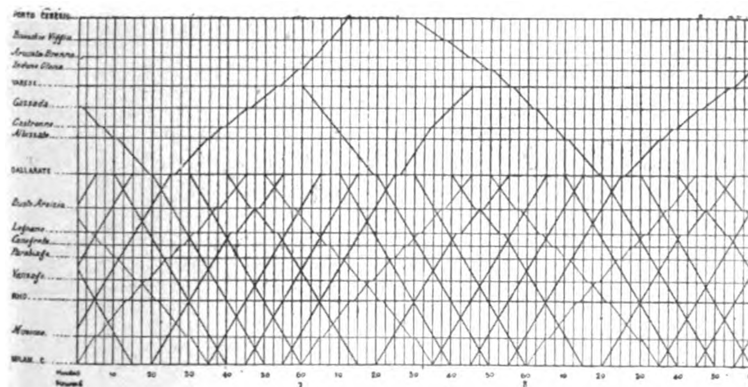


Fig. 2. — Horaire.

Le réseau que la Société des chemins de fer de la Méditerranée se propose d'exploiter par courant continu comprend une ligne à double voie de Milan à Gallarate et trois lignes reliant Gallarate à Porto-Ceresio, Laveno et Arona ; la longueur totale est de 130 km. L'énergie électrique sera fournie par une usine hydraulique sous forme de courants triphasés à

(¹) Von Kando. La traction électrique par courants triphasés à haute tension sur lignes interurbaines, *L'Écl. Élect.*, t. XXVII, p. 212, 17 mai 1901.

(²) E. Cserhati. Comparaison entre la traction électrique et la traction à vapeur. *L'Écl. Élect.*, t. XXVIII, p. 130, 27 juillet 1901.

Fig. 3 et 4. — Coupe et profil de l'usine à vapeur de Tornavento.

13000 volts et transformée dans des sous-stations en courant continu à 650 volts amené aux voitures par un troisième rail latéral. C'est en somme le système d'alimentation aujourd'hui

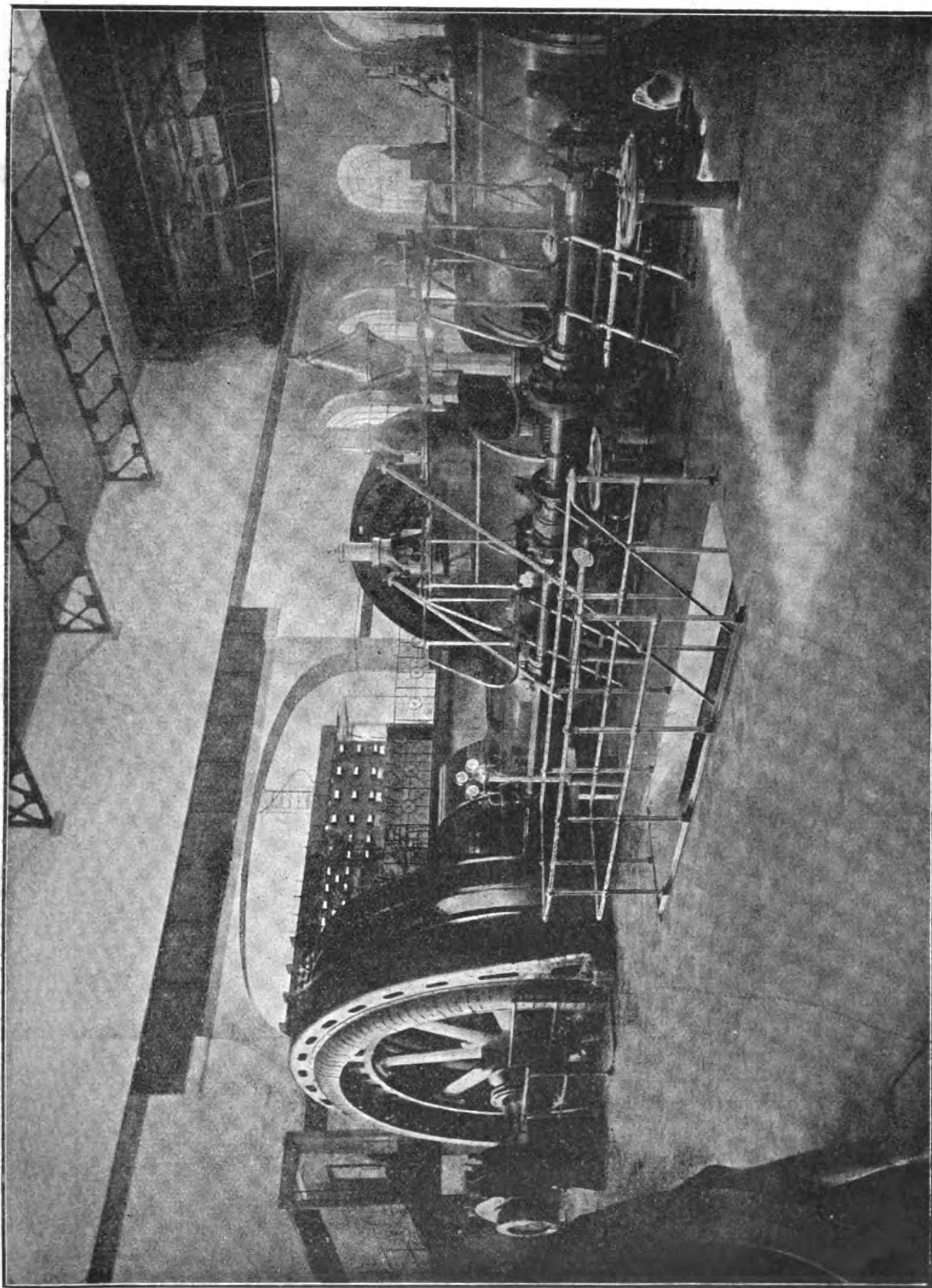


Fig. 5. — Vue de l'usine à vapeur de Tornavento.

adopté pour l'alimentation des réseaux de tramways de quelque importance. La mise en exploitation toute récente de la section Milan-Gallarate-Porto-Ceresio nous permet d'indiquer en détail comment il a été appliqué aux chemins de fer.

I. Généralités. — De Milan à Gallarate (fig. 1) la ligne, d'une longueur de 40,3 km, se développe toujours en rampe (rampe maximum 6 p. 1000, rampe moyenne 2 p. 1000) avec très peu

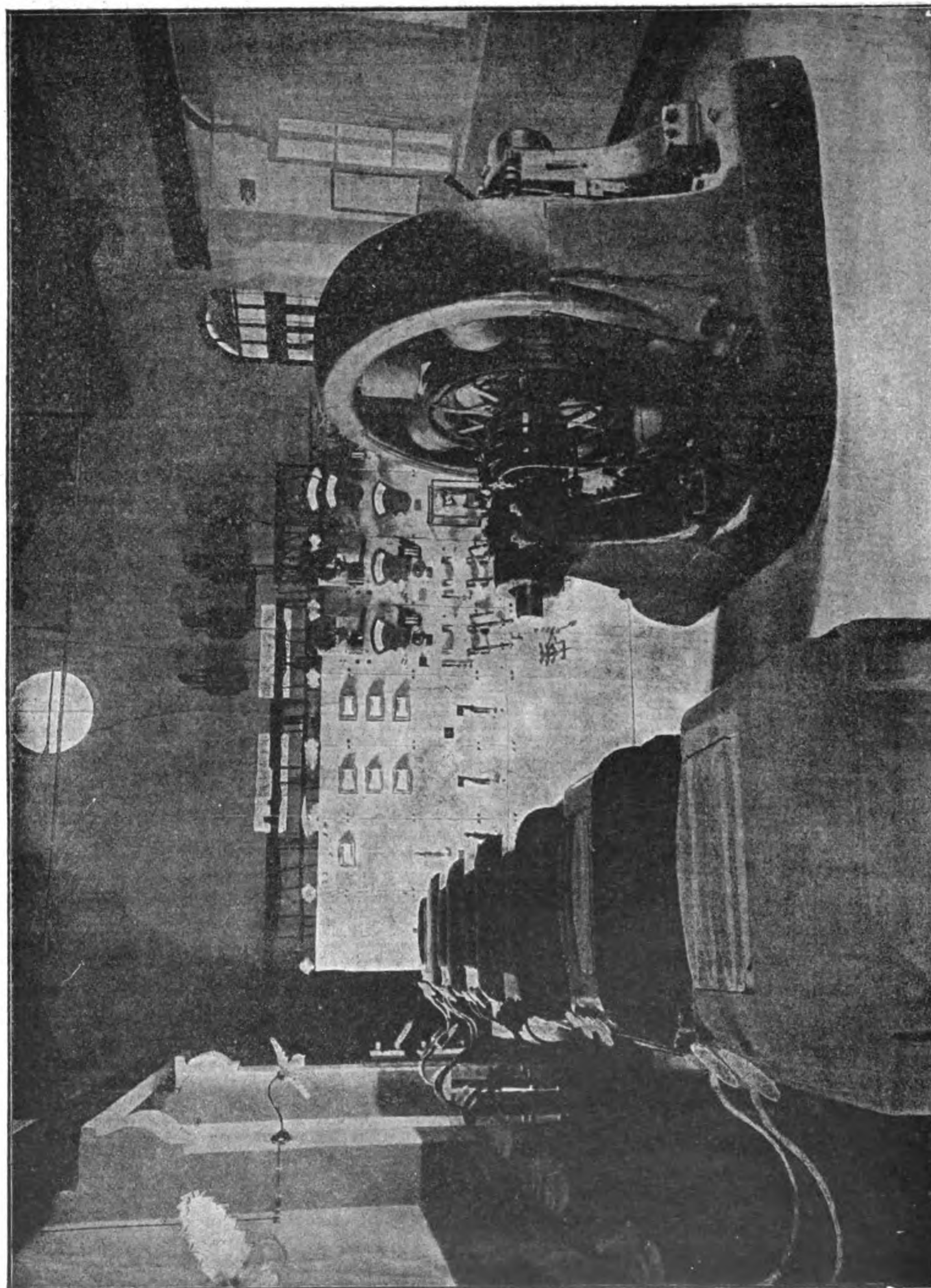


Fig. 6. — Sous-station de Parabiago.

de courbes d'un rayon minimum de 800 m ; elle dessert une contrée très peuplée et très industrielle qui a de fréquents rapports avec Milan ; le mouvement des voyageurs y est très actif et presque constant en toute saison.

De Gallarate partent les trois embranchements qui desservent les lacs Majeur, de Varèse et de Lugano et qui ont leur terminus respectif à Arona, Laveno et Porto-Ceresio. Ces embranchements

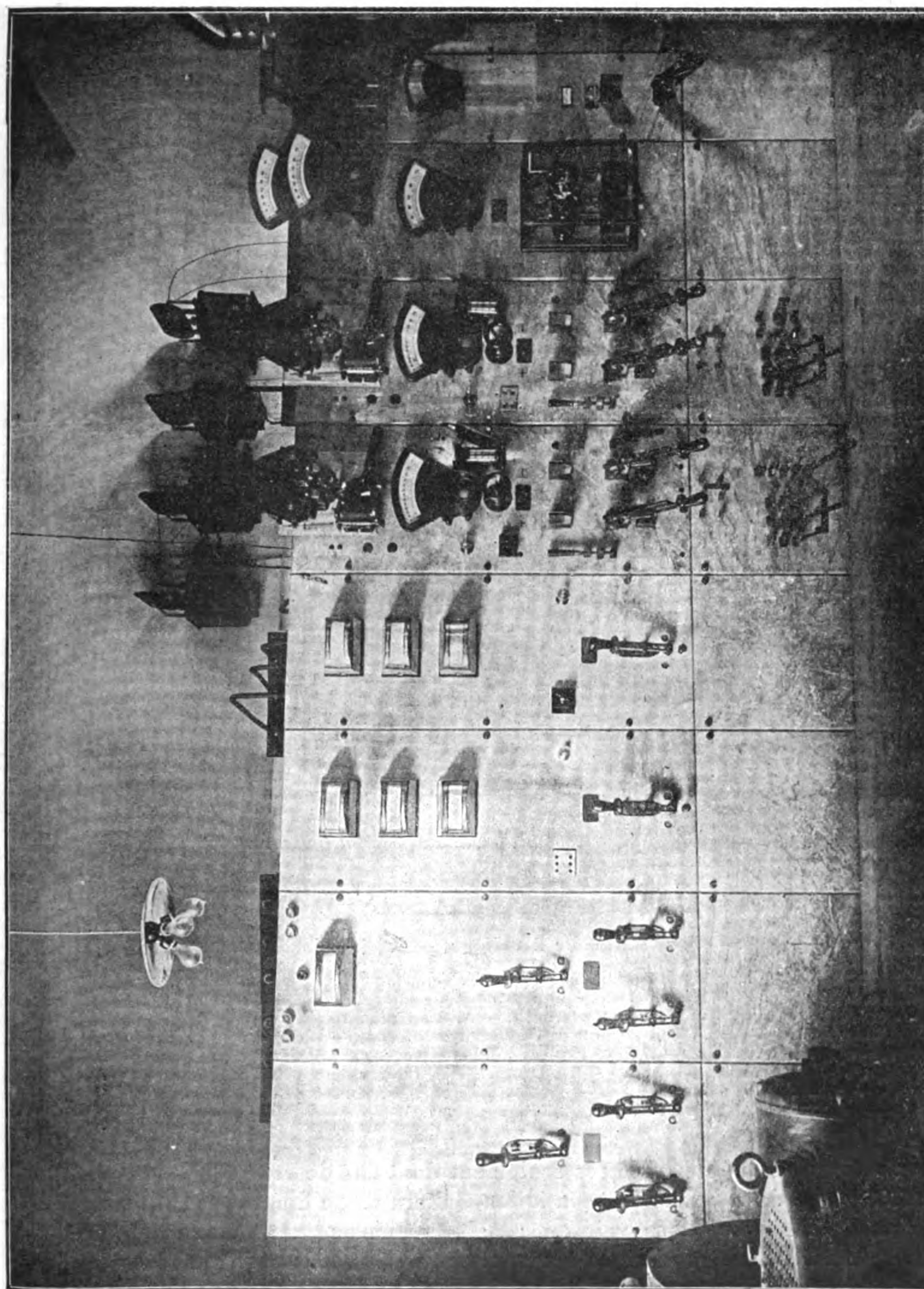


Fig. 7. — Tableau de distribution des sous-stations.

ont des longueurs de 26 km, 31 km et 33 km ; ils présentent des rampes variant de 8 à 20 p. 1000 et des courbes d'un rayon minimum de 300 m. Le mouvement des voyageurs, faible dans la mauvaise saison, est très fort pendant l'été et l'automne.

Ces lignes souffrent actuellement de la concurrence des chemins de fer économiques et des tramways de la région qui offrent au public de nombreux trains à des prix très modérés.

Comme c'est principalement en vue de faire cesser cette concurrence qu'a été décidée la substitution de la traction électrique à la traction à vapeur, cette substitution n'est faite, provisoirement tout au moins, que pour les trains de voyageurs.

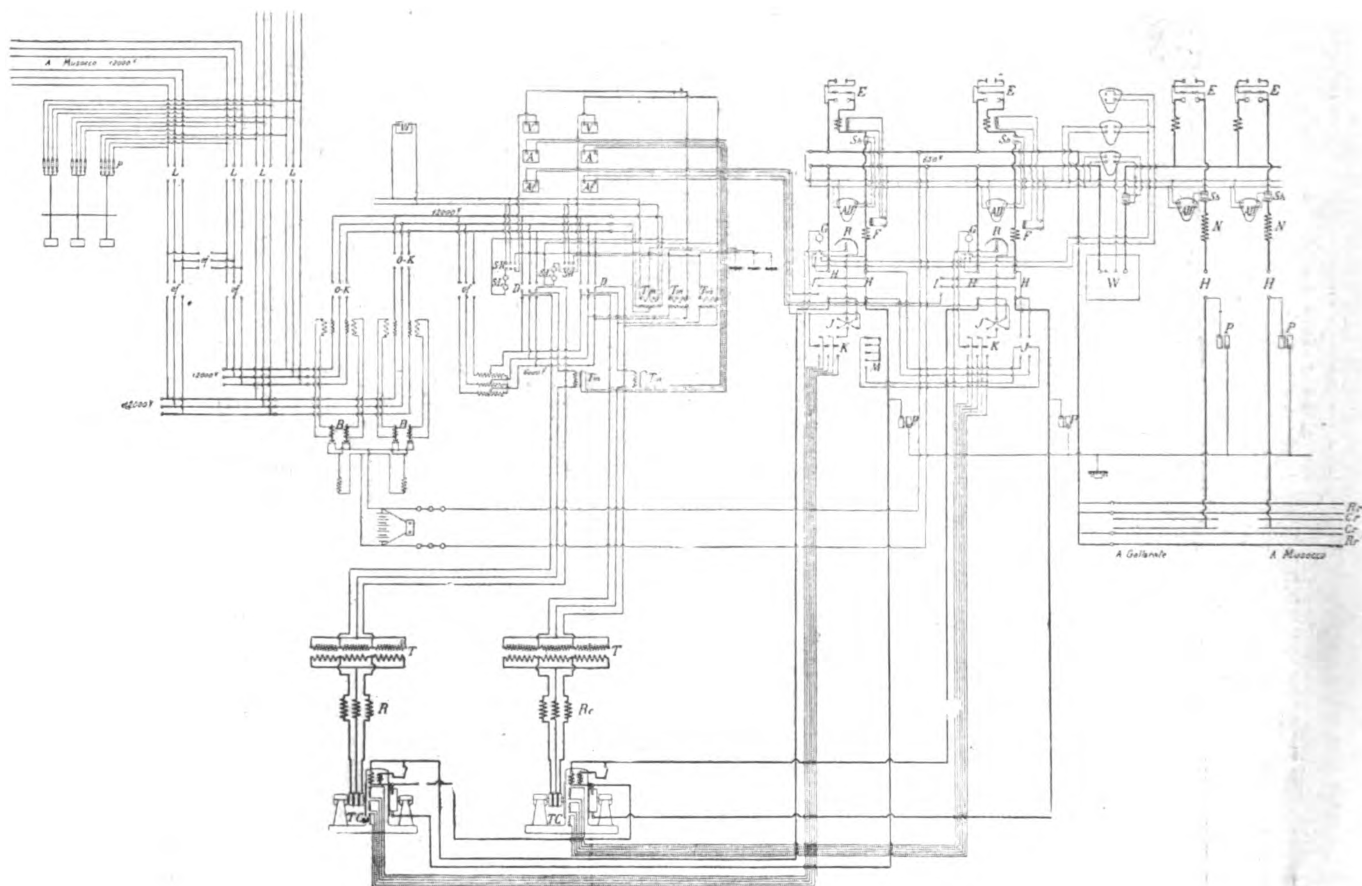


Fig. 8. — Sous-station de Parabiago. — Schéma de distribution.

TC, Convertisseur rotatif. — Rc, Régulateur de tension. — T, Transformateur. — OF, Interrupteur à huile. — OK, Interrupteur à huile automatique. — D, Interrupteur à huile à deux directions. — L, Interrupteur de ligne. — Vs, Voltmètre de synchronisation. — V, Voltmètre pour courant alternatif. — A, Ampèremètre pour courant alternatif. — Af, Ampèremètre d'excitation. — P, Parafoudre. — Tm, Transformateur d'appareil de mesure. — B, Relais. — SL, Lampe de synchronisation. — SR, Interrupteur de synchronisation. — E, Interrupteur automatique. — Sh, Shunt. — AD, Ampèremètre courant continu. — F, Relais inverseur. — R, Rhéostat de champ. — G, Lampe. — H, Interrupteur principal. — J, Interrupteur. — K, Interrupteur de champ. — Interrupteur de démarrage. — W, Wattmètre. — N, Bobine d'induction. — Rr, Rail de roulement. — Cr, Rail de contact. — I, Interrupteur pour l'auto-excitation.

Ces trains, composés de deux voitures seulement dont une de remorque, sont au nombre de 5 par heure dans chaque sens sur le tronçon Milan-Gallarate. Le diagramme 2 en donne l'horaire pour trois heures consécutives. On voit que de Milan partent : au commencement de chaque heure un train omnibus ; vingt minutes après un train semi direct ; trois trains directs jusqu'à Gallarate à 35, 45 et 55 minutes après l'heure. Le dernier de ces trains poursuit sa route jusqu'à Varèse ; puis, une fois sur deux, jusqu'à Porto-Ceresio. En sens inverse les trains se succèdent de la même façon.

Les quarante kilomètres séparant Milan de Gallarate doivent être parcourus en 30 minutes par les trains directs ; aussi a-t-on prévu les moteurs des voitures pour une vitesse de 100 km : h.

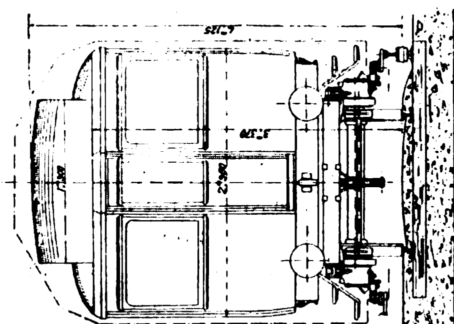
Fig. 9, 10 et 11. — Voiture automotrice.

Usine génératrice. — L'énergie électrique nécessaire à l'exploitation est fournie par la station centrale de Tornavento, sur les bords du Tessin ; cette station comprend deux usines, l'une hydraulique, l'autre à vapeur.

L'usine hydroélectrique, encore inachevée, contiendra huit groupes électrogènes composés chacun d'une turbine de 1 200 chevaux actionnant directement un alternateur triphasé, 13 000 volts, de 750 kw.

L'usine à vapeur (fig. 3 à 5), entièrement construite, assure momentanément le service et sera utilisée dans la suite comme réserve en cas d'accident ou autre cause ; son matériel à vapeur a été fourni par la maison Franco Tosi, de Legnano ; son matériel électrique, ainsi d'ailleurs que celui des autres parties de l'installation, par la Compagnie Thomson-Houston de la Mediterranée.

La chambre de chauffe de cette usine contient 8 chaudières de chacune 290 m² de surface de chauffe fournissant de la vapeur à la pression de 12 atmosphères ; chaque chaudière est composée d'un groupe de 114 tubes en acier de 10,2 cm de diamètre extérieur et 5,5 m de longueur, et deux corps de chaudières supérieurs ou réservoirs de vapeur de 1,1 m de diamètre extérieur et de 7,8 m de longueur. La chaufferie renferme encore trois batteries d'économiseurs, composées chacune de 32 tubes verticaux ayant une surface de 540 m², deux pompes d'alimenta-



tion Duplex pouvant débiter 25 à 40 m³ d'eau à l'heure, et tous autres accessoires ordinairement utilisés.

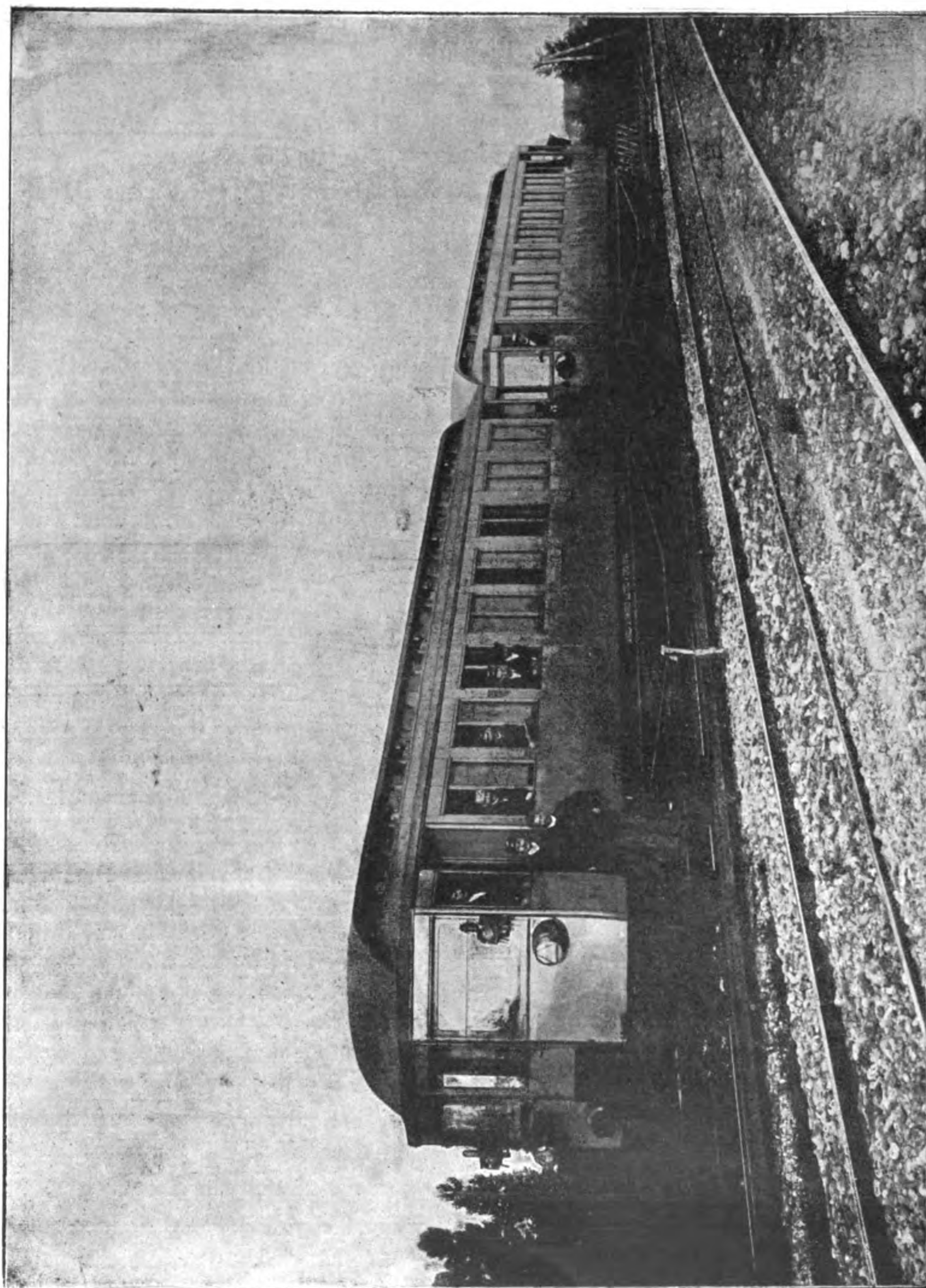


Fig. 12. — Voitures automotrice et de remorque.

Dans la salle des machines sont installés trois groupes électrogènes triphasés de 750 kilowatts et deux groupes de 75 kilowatts à courant continu pour l'excitation.

Les trois grandes machines à vapeur sont horizontales du type Corliss à double expansion et

disposition en tandem; leur puissance est de 1 400 chevaux à la pression de 11 atmosphères et avec une admission de 27 centièmes dans le grand cylindre, mais elle peut atteindre momentanément 2 000 chevaux; leur vitesse angulaire est de 94 t : m ; elles sont munies d'un volant pesant 36 tonnes; les diamètres des deux cylindres sont respectivement de 1,2 m et 0,725 m; la course commune des deux pistons est de 1,35 m.

Les deux petites machines sont du type pilon, compound, à condensation; leur puissance normale à la pression de 11 atmosphères est de 85 chevaux; leur puissance maxima, de 120 chevaux; la vitesse angulaire est de 270 t : m; les diamètres des cylindres, de 0,40 et 0,275 m et la course commune des pistons, de 0,30 cm.

A chacune des grandes machines à vapeur est directement accouplé un alternateur triphasé du type à inducteurs mobiles, d'une puissance normale de 750 kilowatts sur circuit non inductif, mais susceptible de supporter une surcharge de 25 p. 100 pendant deux heures et de 40 p. 100 en à-coups sans échauffement nuisible. L'enroulement du champ est distribué sur 32 bobines donnant ainsi à la vitesse normale de 94 t : m une fréquence de 25 périodes. L'induit est bobiné de façon à produire directement des courants à la tension de 13 000 volts.

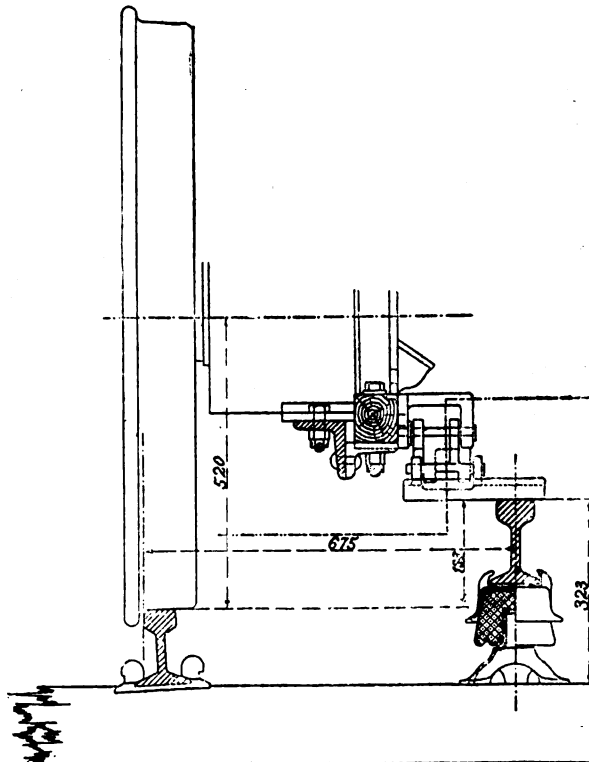


Fig. 13. — Détail de la prise de courant.

Aux deux petites machines à grande vitesse sont accouplées directement deux dynamos hexapolaires de 75 kilowatts donnant du courant continu à 125 volts pour l'excitation.

Le tableau de distribution est composé de neuf panneaux dont un pour les deux excitatrices, trois pour les alternateurs, un panneau pour les appareils totalisateurs, et quatre panneaux de ligne, c'est-à-dire deux panneaux pour chacune des doubles lignes de transmission allant vers Gallarate et Parabiago. Au panneau des excitatrices sont fixés : 1 voltmètre pour courant continu, 2 ampèremètres, 2 rhéostats de champ, 1 interrupteur pour le voltmètre, 2 interrupteurs principaux ; chacun des panneaux des alternateurs porte : 1 wattmètre, un ampèremètre de champ, 1 voltmètre pour courant alternatif, 1 voltmètre pour courant continu, 1 interrupteur de champ, 1 interrupteur à huile ; sur le panneau des appareils totalisateurs se trouvent : 2 wattmètres enregistreurs, 4 wattmètres indicateurs et les transformateurs correspondants; enfin les panneaux de départ portent : 3 ampèremètres, 1 interrupteur tripolaire double, 1 interrupteur tripolaire automatique à huile.

Ces derniers interrupteurs, qui remplacent les fils fusibles, sont destinés à mettre la station à l'abri des conséquences des courts-circuits extérieurs ou des décharges exagérées. Ils ont été étudiés tout récemment et créés spécialement en vue de cette installation ; ils sont logés dans des boîtes incombustibles placées à 1,50 m environ en arrière du tableau, d'où ils sont commandés à l'aide d'un système de leviers.

Par l'emploi de nombreux transformateurs, la manipulation des instruments de mesure n'implique aucun danger; de plus, les conducteurs à haute tension qui relient les alternateurs au tableau sont placés sous le plancher, sur des isolateurs spéciaux. Enfin, la station est protégée contre les décharges atmosphériques par des parafoudres pour 15 000 volts du système Wirt.

Lignes de transmission a haute tension. — Le tracé des lignes de transmission est indiqué en figure 1 ; sauf celles de Tornavento à Gallarate et à Parabiago, ces lignes suivent les voies ferrées dont elles ne s'écartent que dans le voisinage des tunnels qu'elles évitent par un détour.

Chaque ligne est double, c'est-à-dire composée de 6 fils de cuivre nu dont le diamètre, variable entre 4 et 9 mm, ainsi qu'il est indiqué sur la figure 1, a été calculé de manière que la perte en ligne ne dépasse pas 8 p. 100. Les fils sont posés sur isolateurs en porcelaine à triple cloche essayés à 40 000 volts. Ces isolateurs sont montés sur deux traverses de bois montées sur des poteaux en bois espacés d'environ 50 m et munis de paratonnerres reliés au sol par un fil de fer de 5 mm de diamètre ; la traverse supérieure, la plus longue, porte quatre isolateurs ; l'autre deux ; les trois phases d'une même ligne sont d'un même côté du poteau et forment les sommets d'un triangle équilatéral de 50 cm de côté.

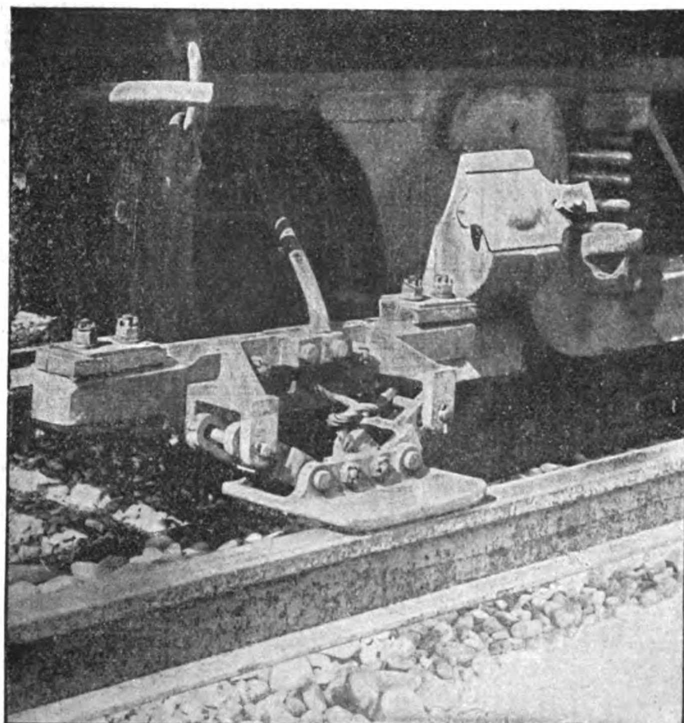


Fig. 14. — Prise de courant de la locomotive électrique.

Ces lignes sont protégées, principalement aux environs des sous-stations, par des parafoudres du type Wirt, et, pour faciliter leur mise hors circuit en cas d'accident, elles sont commandées à l'arrivée et au départ de chaque sous-station par des interrupteurs à huile manœuvrables à la main ; des interrupteurs sur poteaux en divers points permettent de localiser toute faute survenant sur le réseau.

Sous-stations. — Les sous-stations, au nombre de cinq, sont distantes entre elles de 16 km environ.

Dans celles de Gallarate, de Parabiago (fig. 6 à 8) et de Musocco, les courants à haute tension dès leur arrivée, c'est-à-dire après avoir passé les doubles barres d'omnibus à haut potentiel (voir fig. 8) traversent un des deux interrupteurs automatiques à huile, et sont conduits, soit vers les primaires des transformateurs, si les convertisseurs rotatifs sont en service, soit vers le compensateur de démarrage si l'on met en route les convertisseurs rotatifs du côté des courants alternatifs.

Dans chacune de ces trois sous-stations, sept transformateurs à ventilation forcée (dont un de réserve), de la puissance de 180 kilowatts chacun, réduisent le potentiel de 12 000 à 420 volts, puis, en sortant des secondaires des transformateurs, le courant à 420 volts vient au convertisseur rotatif et y est transformé en courant continu à 650 volts.

Chacune des trois sous-stations contient deux convertisseurs rotatifs dont la puissance a été prévue de façon à permettre à une seule machine d'assurer le service ordinaire, la seconde ne devant être utilisée que dans les moments de fort débit ou en cas d'accident à la première ; elles sont à 6 pôles, d'une puissance de 500 kilowatts, et peuvent supporter une surcharge allant jusqu'à 40 p. 100. Chaque convertisseur rotatif est relié isolément à un groupe de transformateurs.

Le tableau de distribution de chacune des sous-stations contient tous les appareils de manœuvre et de sécurité les plus nouvellement créés ; sur les panneaux à courant continu des convertisseurs rotatifs, ainsi que sur les panneaux d'alimentation, sont intercalés des interrupteurs automatiques à soufflage magnétique qui protègent complètement la sous-station contre toute surcharge ou

court-circuit survenant sur le réseau à courant continu. Enfin, de même qu'à la station centrale, le devant du tableau de distribution ne contient aucun appareil à haute tension.

Les sous-stations de Gazzada et de Bisuschio sont identiques, comme dispositions générales, aux trois sous-stations dont nous venons de parler, mais elles ne contiennent qu'un seul convertisseur de 250 kilowatts ; et, comme la charge de ces deux sous-stations est intermittente et variable, leur installation comprend en outre une batterie-tampon de 275 ampères-heure et un survolteur actionné par moteur électrique.

Matériel roulant. — Le matériel roulant, dont un modèle figurait à l'Exposition universelle de 1900 (annexe de Vincennes), comprend 20 voitures automotrices, et autant de voitures de remorque construites sur le même modèle; les figures 9 à 12 en montrent la disposition intérieure et extérieure. Toutes ces voitures sont construites sur le type dit américain avec châssis et caisse reposant sur deux bogies avec interposition d'une double suspension élastique ; elles ont été fournies par la maison Miami Silvestri Grondona Comi e C, de Milan.

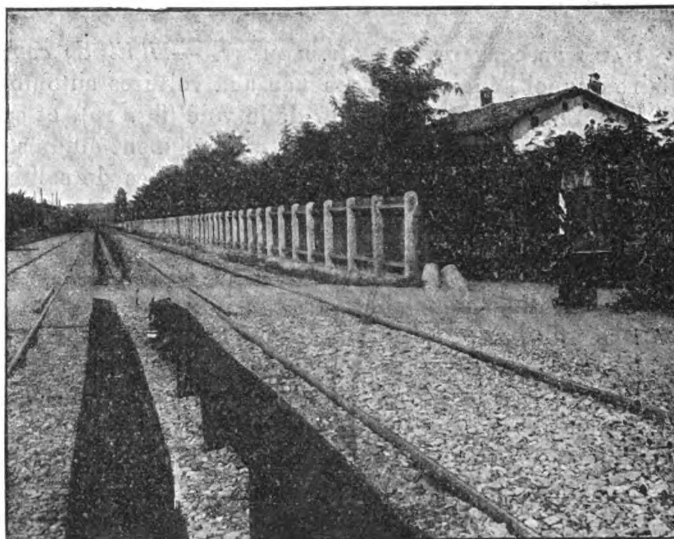


Fig. 15. — Rails de roulement et de contact.

La caisse a une longueur totale de 17,890 m, une hauteur de 4,145 m, une largeur extérieure, de 2,960 m à la partie centrale et de 2 400 m aux deux extrémités d'entrée et aux cabines du mécanicien.

Les voitures sont subdivisées, au moyen de cloisons transversales, en : 1° deux compartiments de première classe dont un à 16 places pour fumeurs et l'autre à 8 places pour non fumeurs ; 2° deux compartiments de troisième classe dont un à 23 places pour fumeurs et l'autre à 16 places pour non fumeurs ; 3° deux vestibules d'entrée aux extrémités, couverts et divisés dans les voitures motrices en deux parties distinctes : l'une pour la cabine du mécanicien, l'autre réservée aux voyageurs debout. Au total chaque voiture motrice peut contenir 75 voyageurs dont 63 assis, et chaque voiture remorquée 90 dont 63 assis. Tous les compartiments communiquent entre eux, au moyen de portes roulantes, et l'on accède à l'intérieur des voitures par des vestibules situés à leurs deux extrémités.

Le poids de la voiture automotrice, y compris celui des voyageurs, est de 43 tonnes environ et celui de la voiture remorquée de 30 tonnes.

L'équipement électrique de chaque voiture automotrice, fourni par la Compagnie Thomson-Houston de la Méditerranée, comprend 4 moteurs du type GE-55 ; ils ont été prévus de puissance suffisante pour donner la vitesse considérable de 88 à 96 km à l'heure que les trains auront à maintenir durant la plus grande partie du parcours de Milan à Gallarate, et pour effectuer rapidement les démarrages que nécessitent les arrêts fréquents.

L'équipement comprend encore deux contrôleurs série parallèles, type L-3 (chacun d'eux commandant les quatre moteurs), puis les coupe-circuits automatiques et tous appareils accessoires ou de sécurité généralement utilisés.

Chaque voiture automotrice est en outre munie du frein à main du modèle à vis, et d'un frein à air consistant en un groupe moteur-compresseur de la puissance de 4 chevaux.

Pour l'éclairage intérieur des voitures, de même que pour les feux de manœuvre ou de pro-

tection placés à l'avant et en queue du train, il est employé des lampes à incandescence montées en série sur le circuit d'alimentation.

Les patins de contact (fig. 13) destinés à recueillir le courant amené par le troisième rail sont supportés par une poutrelle en fer fixée sur les boîtes à graisse des trucks ; ce dispositif assure un contact très souple. Les patins sont placés à chaque extrémité de la voiture, et cela pour assurer une communication constante, même dans les endroits où le rail de contact, placé d'un seul côté de la voie, est interrompu sur de courtes longueurs, comme par exemple aux aiguillages ou aux passages à niveau.

Enfin il sera utilisé pour la remorque des wagons à marchandises une locomotive électrique, du poids de 35 tonnes ; son équipement comprend 4 moteurs G. E. 55 de 160 chevaux. La prise de courant de cette locomotive est représentée en figure 14.

Rails de contact et de roulement. — *Rail de contact*. — Le rail de contact, par l'intermédiaire duquel l'énergie est amenée aux voitures automotrices, est constitué par un rail Vignole de 45 kilogrammes, placé le long de la voie (fig. 15), et supporté tous les 4 mètres environ par des isolateurs de « granit artificiel » spécialement étudiés et créés pour cette installation. Ce type d'isolateur possède des qualités remarquables de solidité et d'isolation et a donné toute satisfaction tant aux essais que dans la pratique.

Comme le montre la figure 13, le rail est posé sur le chapeau en fer de l'isolateur de façon à pouvoir se déplacer librement lorsque se produisent des contractions ou dilatations provoquées par les variations de température, ou lors du léger mouvement vertical imprimé à l'isolateur quand les roues du train franchissent la traverse sur laquelle il est fixé.

Les rails sont reliés entre eux au moyen d'une éclisse de cuivre flexible de 200 mm^2 de section.

Pour éviter le glissement sur les déclivités, les rails sont solidement éclissés dix par dix et ancrés au point de milieu du tronçon ainsi constitué. Les mouvements de dilatation et de contraction provoqués par les variations de température étant considérables, vu la longueur de la voie, des connexions flexibles spéciales sont placées sous les éclisses mécaniques à l'extrémité de chaque section, ce qui permet d'obtenir un jeu suffisant.

Sur le tronçon de Milan-Gallarate où la voie est double, les deux rails de contact sont reliés transversalement entre eux tous les 100 mètres environ par des connexions de 11 mm de diamètre. Aux aiguillages ou passages à niveau, et généralement aux endroits où le rail de contact est interrompu, la continuité du courant est assurée par un câble armé de 400 mm^2 de section.

Pour la distribution d'énergie sur la ligne, il n'est employé aucun feeder, les sous-stations alimentant toutes directement le rail de contact ; ce dernier est interrompu à chaque sous-station, et l'alimentation est faite de chaque côté de l'interruption par le panneau d'alimentation correspondant. De cette façon, toutes les sous-stations travaillent en parallèle, tant du côté des courants continus que de celui des courants alternatifs, et si, par suite d'une fausse manœuvre, le circuit à haute tension d'une sous-station venait à être ouvert tandis que le circuit à courant continu serait fermé, les convertisseurs rotatifs absorberaient du courant continu par l'intermédiaire du rail de contact, et fonctionneraient comme moteurs à courant continu avec l'excitation en série, en opposition avec celle en dérivation. Toutefois, pour éliminer cette éventualité, les panneaux à courant continu des convertisseurs rotatifs ont été munis d'interrupteurs automatiques d'inversion qui, à l'aide d'une bobine auxiliaire en dérivation, coupent le circuit dès que le courant tend à changer de sens.

Rails de roulement. — La voie est constituée par des rails Vignole de 36 kilogrammes, placés sur des traverses en bois. L'éclissage électrique est constitué par des fils de cuivre de 11 millimètres de diamètre ; des fils semblables constituent, à intervalles de 100 mètres, les connexions transversales entre les deux voies et entre les rails d'une même voie.

J. Reyval.

SUR LE TEMPS PÉRIODIQUE D'OSCILLATION NATURELLE

D'UN ALTERNATEUR COUPLÉ

MM. Boucherot et Blondel ont donné la formule suivante du temps périodique d'oscillation d'un alternateur couplé tournant à vide

$$T = 2\pi \frac{N}{60} \sqrt{\frac{20 \pi k}{f.U_1.I_{cc}}}.$$

Il est facile de retrouver cette formule très simplement comme il suit.

Soit OAB le diagramme d'un alternateur non saturé et pour lequel la résistance ohmique est négligeable devant l'inductance, couplé sur un réseau dont la tension constante est $OB = U$. La force électromotrice induite de l'alternateur pour une excitation donnée est $OA = E_0$, son impédance est Z et le courant, décalé de φ, qu'il débite sur le réseau est I.

Ce diagramme convient très sensiblement encore au cas d'un alternateur saturé fonctionnant à faible charge.

La puissance fournie au réseau par l'alternateur est

$$P = E_0 . I . \cos \widehat{E_0 . I} = \frac{AO}{Z} AB . \sin A$$

or

$$AB . AO . \sin A = OB . OA . \sin \theta = 2S$$

$$P = \frac{AO}{Z} . OB . \sin \theta = \frac{E_0}{Z} . U . \sin \theta ;$$

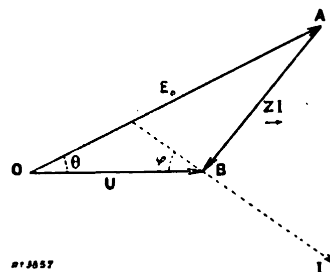


Fig. 1.

mais $\frac{E_0}{Z}$ est le courant de court circuit I_{cc} de l'alternateur correspondant à l'excitation donnée et finalement

$$P = U . I_{cc} . \sin \theta .$$

Toute variation infiniment petite de la distance angulaire entre l'axe d'un pôle inducteur et l'axe du pôle fictif homologue de l'induit correspond à la variation infiniment petite $\frac{d\theta}{p}$ de l'angle θ de la figure si l'alternateur a $2p$ pôles. La variation moyenne de puissance correspondante est

$$p \frac{dP}{d\theta} = p . U . I_{cc} \cos \theta$$

et comme à vide $\cos \theta = 1$ on voit que la variation de puissance de l'alternateur $p . U . I_{cc}$ est produite à la vitesse moyenne $2\pi . \frac{N}{60}$ par le couple

$$C = \frac{p . U . I_{cc}}{2\pi . \frac{N}{60}},$$

Or si k est le moment d'inertie en kilogrammes-masses-mètres de la partie tournante, le temps périodique de l'oscillation non amortie due au couple C est

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{9,81 \, k}{C}}$$

en remplaçant C par sa valeur, p par $\frac{f}{\frac{N}{60}}$ et 9,81 par la valeur 10 approchée, on trouve bien

$$T = 2\pi \frac{N}{60} \sqrt{\frac{20 \pi k}{f.U.I_{cc}}}.$$

Démonstration identique et même résultat pour un moteur synchrone tournant à vide (dans ce cas OA est décalé en arrière de OB).

Nous rappellerons que le temps T est sensiblement indépendant du nombre d'alternateurs couplés et de la charge pour les alternateurs à faible chute de tension. Il diminue de 25 p. 100 environ à pleine charge lorsque la chute de tension est considérable.

Maurice Soubrier.

REVUE INDUSTRIELLE ET SCIENTIFIQUE

GÉNÉRATION

Accumulateur Schmitt. Brevet anglais n° 8226, demandé le 3 mai 1900; accepté le 8 septembre 1900.

La plaque figures 1 et 2 a la forme d'une poche coulée d'une seule pièce, dans laquelle est logée la matière active.

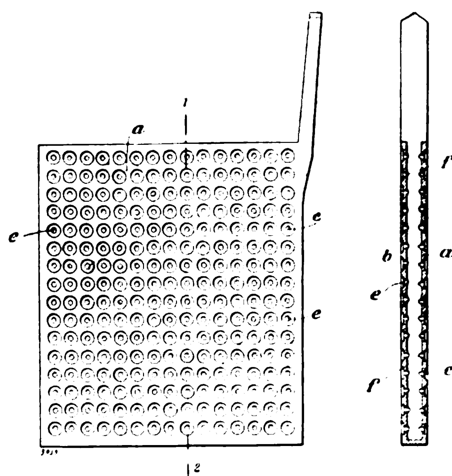


Fig. 1 et 2. — Accumulateur Schmitt.

Les deux faces de la plaque sont estampées et poinçonnées de façon à obtenir des trous coniques e et des bavures f dirigées vers l'intérieur de la plaque.

La matière active est introduite dans la plaque sous forme de pâte, elle se compose de 20 p. 100 de minium et 80 p. 100 de litharge pour les négatives et de 20 p. 100 de litharge et 80 p. 100 de minium pour les positives; la pâte est faite en mélangeant ces substances avec de l'acide sulfurique. A. B.

Accumulateur Wiegand. Brevet anglais n° 10319, demandé le 5 juin 1900, accepté le 1er septembre 1900.

L'inventeur décrit un accumulateur à cuvettes; le bord des cuvettes est en forme de gouttière renversée; cette gouttière est noyée dans un ciment non conducteur de façon à isoler les deux faces de la cuvette qui sont de polarités contraires. A. B.

Procédé Rodrian de formation de la matière active des accumulateurs. Brevet anglais n° 216. Demandé le 3 janvier 1900; accepté le 3 novembre 1900.

Lorsqu'on part du plomb spongieux ou du plomb pour obtenir la matière active des accumulateurs, les plaques sont trempées pendant quelques heures dans de l'eau oxygénée à 10/15 volumes, puis formées par le courant dans un bain composé de deux volumes d'acide sulfurique dilué et d'un volume d'eau oxygénée.

Si l'on se sert d'empâtages, les oxydes de plomb ou le plomb finement divisé sont malaxés avec un liquide formé à volumes égaux d'acide sulfurique à 40° B. et d'eau oxygénée à 10/15 volumes. Lorsque les plaques empâtées sont sèches, les positives sont oxydées (?) en les plongeant dans de l'acide sulfurique à 30 p. 100; et les négatives sont réduites en les immergeant dans une solution d'eau oxygénée. Ces plaques sont ensuite formées à la façon ordinaire dans un bain d'acide sulfurique dilué pur.

Les avantages de ces nombreuses manipulations seraient, d'après l'inventeur, d'abréger considérablement le temps de formation 15 heures au lieu de 6 jours, et, d'éviter tout foisonnement ultérieur de la matière active.

A. B.

Séparateur Perrin pour accumulateurs. Brevet anglais n° 24116 demandé le 4 décembre 1899; accepté le 29 septembre 1900.

Séparateur en celluloïd, ou en matière non conductrice, figure 1, avec des perforations *f* et

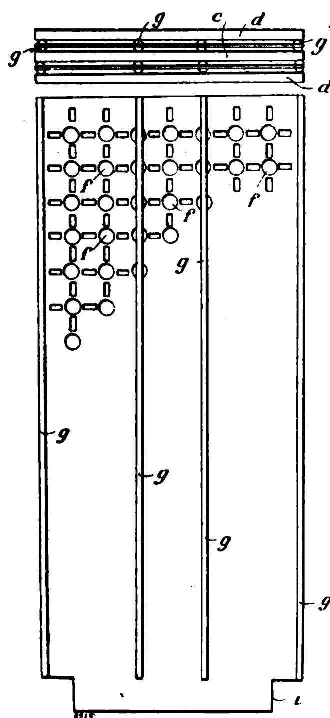


Fig. 1. — Séparateur Perrin.

des moulures semi-cylindriques *g* se correspondant sur les deux faces ; le séparateur porte un prolongement *i*, destiné à dépasser le bas des plaques et à toucher le fond du bac pour éviter les courts circuits qui se produisent par le dépôt de la matière active positive qui se désagrège.

En haut de la figure on voit en plan, trois plaques *c*, *d*, *d*. ainsi séparées.

L'inventeur revendique en outre l'usage de plaques positives de dimensions plus faibles que les négatives, les dites plaques étant montées avec les séparateurs décrits.

A. B.

Mode d'assemblage et de connexion Rooper des plaques d'accumulateurs. Brevet anglais n° 13816. Demandé le 1er août 1900 ; accepté le 22 septembre 1900,

Les plaques B (fig. 1) ont des queues A qui se prolongent hors des bacs E, et sont courbées en arc de cercle ; l'extrémité de chaque queue

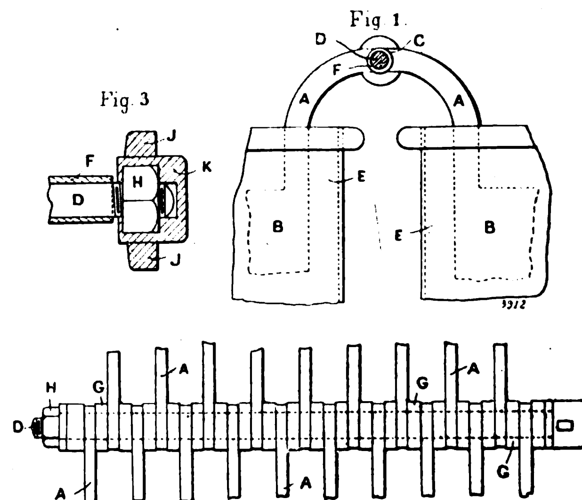


Fig. 1 à 3. — Mode d'assemblage et de connexion Rooper.

présente une encoche C de forme propre à recevoir une barre d'assemblage D. Cette barre cylindrique qui est faite d'un métal ou d'un alliage convenable tel que du cuivre ou du laiton, est recouverte par un tuyau en plomb ou en métal inattaquable par l'électrolyte, ce tuyau est représenté en F.

La figure 2 montre en plan un certain nombre de plaques assemblées entre elles et avec celles de l'élément voisin ; la barre D est filetée à ses extrémités pour recevoir des écrous en laiton H.

Des rondelles G sont placées sur la barre entre les extrémités des queues pour en maintenir l'écartement et assurer le serrage ; ces rondelles peuvent être remplacées par des surépaisseurs venues de coulée avec les plaques.

Une capsule en plomb K (fig. 3) recouvre exactement chaque écrou de serrage H, pour le préserver de toute attaque ; des ailettes J permettent de faire tourner l'écrou et sa capsule.

Les avantages de ce système de connexion seraient d'après l'inventeur : d'éviter toute détérioration de la barre d'assemblage ; et de permettre de retirer les plaques individuellement en cas de mauvais fonctionnement, avec plus de

facilité que lorsque les connexions sont faites par soudure. A. B.

Moule Davies pour plaques d'accumulateurs. Brevet anglais n° 16293. Demandé le 10 août 1899 ; accepté le 10 août 1900.

Ce moule permettrait d'obtenir des plaques genre Leitner à âme très mince, un quart de millimètre au besoin.

La figure 1 représente ce moule qui est composé de deux pièces en bronze assemblées HH, où sont ménagées les cavités voulues devant

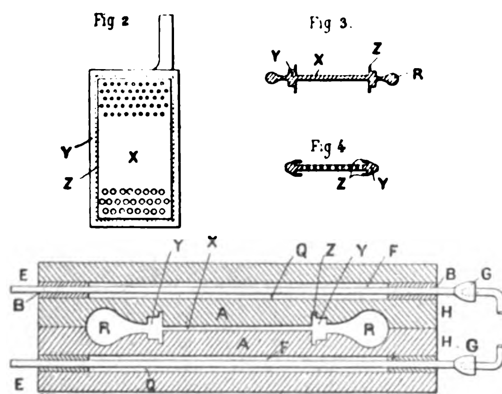


Fig. 1 à 4. — Moule Davies.

former la plaque : X, âme de la plaque ; Y, cadre; Z, saillies du cadre destinées à être rabattues parallèlement à l'âme ; R, masselottes.

Sur les faces extérieures du moule, sont placées deux autres pièces en fonte EE, maintenues à une certaine distance du moule par des pièces BB, de façon à former des chambres FF.

Dans ces chambres passent des tubes QQ, percés de distance en distance de trous regardant le moule ; ces tubes sont le prolongement de brûleurs Bunsen GG placés à l'extérieur ; des ouvertures sont ménagées dans les pièces BB, pour permettre l'accès de l'air et l'évacuation des gaz de la combustion.

Le moule est chauffé avant la coulée par le gaz qu'on allume dans les chambres FF ; aussitôt la coulée faite, le gaz est éteint et de l'air froid est insufflé dans les chambres pour permettre le démoulage rapide.

La figure 3 montre la section horizontale d'une plaque au sortir du moule.

Les figures 2 et 4 représentent une plaque de ce type ; les masselottes ont été enlevées, l'âme a été ajourée et le bord du cadre chanfreiné ; les saillies Z ont été rabattues dans le dessein de retenir la matière active. Les plaques ainsi préparées sont ensuite empâtées.

L'inventeur décrit ensuite plusieurs machines permettant de scier les masselottes, d'ébarber et de chanfreiner les plaques de ce système.

A. Brittain.

Moule Robert-Jacob Gülcher à cadre de plomb pour électrodes d'accumulateurs. Brevet allemand 119067 du 1er novembre 1899. *Centralblatt für Accumulatoren-und Elementenkunde*, t. II, p. 137, 1er mai 1901.

La coulée d'un cadre autour d'un tissu composé de fils de plomb et de coton de verre offrait jusqu'ici de grandes difficultés. On n'arrivait pas en effet à empêcher le plomb de couler dans les intervalles du coton de verre tissé et une partie de la plaque était ainsi rendue inactive. Si on introduisait des substances protectrices comme plaques de feutre ou autres, on risquait d'écraser le coton de verre par serrage et de rendre inutilisable le tissu. De plus, ces plaques ne résistaient pas à la température de fusion du plomb et se carbonisaient au contact de celui-ci.

Robert-Jacob Gülcher a vaincu ces difficultés en employant de minces bandes ou lamelles en matière élastique rendue incombustible et assemblées en forme de brosses. Ces brosses sont placées dans le moule de telle façon que, par la fermeture des deux parties de celui-ci, elles s'enfoncent tout autour sur les bords du tissu préalablement placé dans le moule et empêchent par là l'introduction du plomb à l'intérieur.

Les figures ci-contre montrent les détails du moule : la figure 1 représente une moitié du moule et la figure 2 une coupe de celui-ci par la ligne AB de la figure précédente. La disposition du tissu dans le moule est représentée par la figure 3 ; enfin la figure 4 est une coupe en CD.

Le moule *a* comprend un orifice de coulée *c*, des parties en creux *b* correspondant au cadre à couler et des barrettes *d* munies d'ouvertures circulaires *e*. Dans celles-ci viennent pénétrer les extrémités des conducteurs en plomb pour la mise en place, dans le moule, du tissu qui est ainsi solidement fixé pendant la coulée. Ces barrettes empêchent également le coton de verre de déborder dans les parties *b* et de produire ainsi des manques dans le cadre.

Pour le serrage du tissu, les brosses *f* sont

fixées dans le moule *a* le long des bords *b* et au milieu sont placées des plaques *g* en feutre ou autre substance analogue.

Les bandes ou lamelles des brosses *f* sont beaucoup plus élastiques que les plaques massives en feutre, et elles pénètrent beaucoup plus facilement dans le tissu sans détériorer le coton de verre.

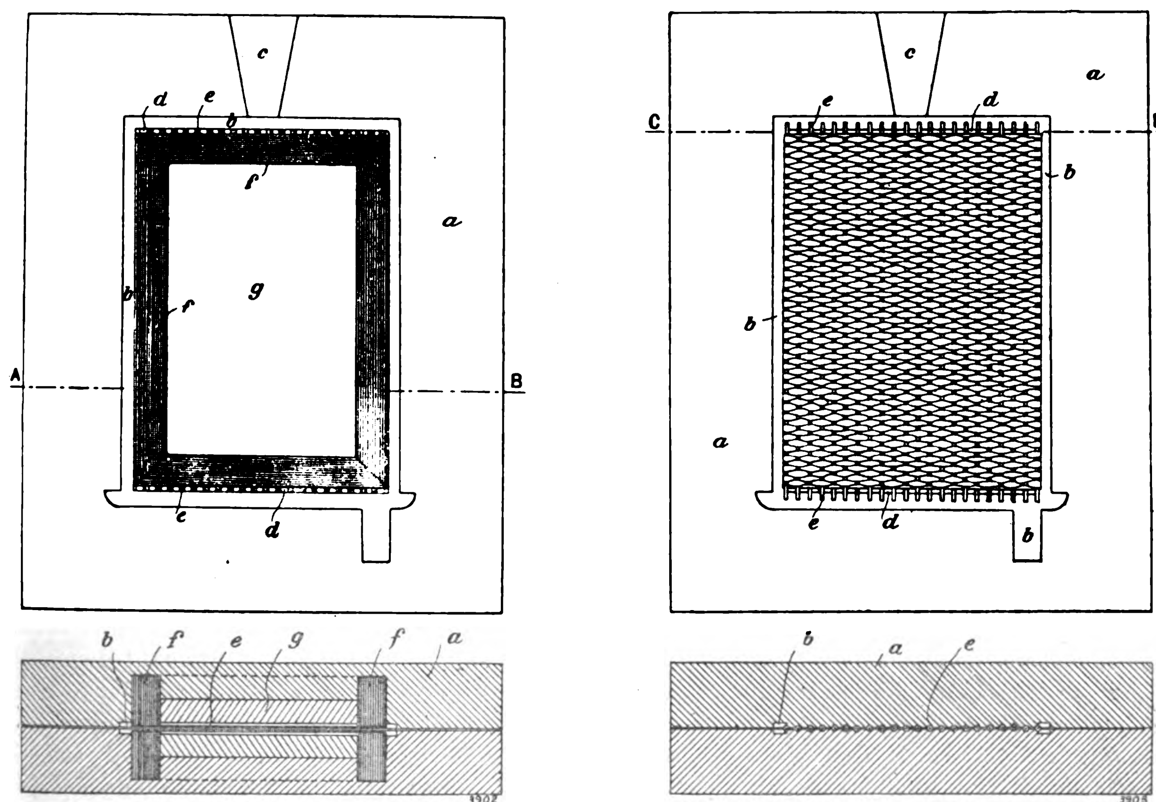


Fig. 1 à 4. — Moule Gülcher.

Ces bandes qui, par exemple, peuvent être constituées par du drap, sont rendues incombustibles avant assemblage par trempage dans une solution appropriée, telle que celle de verre soluble. On peut aussi protéger ces bandes de drap en les recouvrant de bandes de même largeur en pâte ou en papier d'amiante. Dans ce cas, les brosses sont ainsi composées de bandes alternées de drap et de papier d'amiante. Dans chaque moitié du moule, quatre de ces brosses sont réunies de façon à encadrer le tissu. La surface de ces brosses fait légèrement saillie sur celle de la plaque et il y a ainsi pénétration des bandes dans le tissu.

Avant l'introduction du tissu dans le moule, on recule le coton de verre aux extrémités des fils de plomb qui doivent pénétrer dans les cavités *e*. Après la fermeture du moule, on coule le plomb. Celui-ci porte à la température de fusion les parties superficielles des extrémités des fils de plomb du tissu et il se produit ainsi un contact intime avec le cadre.

L. Jumau.

Nouveaux travaux sur les accumulateurs à métaux autres que le plomb, par **Dr St. v. Laszczynski**. *Zeitschrift für Elektrochemie*, t. VII, p. 821, 8 août 1901.

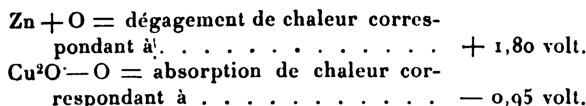
L'accumulateur oxydule de cuivre-zinc paraît définitivement abandonné parce que les oxydes de cuivre ne possèdent pas le degré d'insolubilité suffisant pour servir d'électrodes positives dans les solutions alcalines. Pour la charge de ces plaques, il faut prendre certaines précautions très gênantes, et comme, après un long repos, l'électrolyte dissout, malgré tout, des traces de cuivre, celui-ci vient se déposer à la

cathode pendant la charge et il en résulte des actions locales. La première condition pour un accumulateur qui se compose de deux métaux est l'insolubilité absolue du métal anode dans l'électrolyte (¹).

Dans un brevet allemand de 1898, E. Jungner, de Stockholm, a revendiqué l'emploi, comme dépolarisant, du peroxyde d'argent (Ag^2O^2) ou d'un mélange de celui-ci avec d'autres oxydes de métaux insolubles dans les alcalis, tels que le bioxyde de manganèse. L'idée est bonne en ce sens que le peroxyde d'argent est un très fort dépolarisant ; mais elle n'est pas pratique par suite de la cherté de l'argent. Dans une addition à son brevet, Jungner décrit la préparation de sa plaque : il prend une grille ou un réseau conducteur qu'il remplit de chlorure d'argent fondu ; il réduit ensuite celui-ci en argent métallique puis peroxyde par le courant l'argent poreux ainsi obtenu.

Plus important est le brevet T. v. Michalowski qui indique l'emploi de l'oxyde de nickel Ni^2O^3 comme électrode positive. L'idée n'est d'ailleurs pas nouvelle, pas plus que la précédente, puisqu'on trouve dans un brevet antérieur de A. Dun, de Francfort-sur-Mein, citation de presque tous les oxydes des métaux existants, entre autres l'oxyde de nickel. Mais Michalowski a montré que ce corps doit à ses propriétés thermiques d'être supérieur aux autres. En effet, ce corps est endothermique et, pendant sa décharge, en se réduisant en oxydule, il cède sa chaleur de formation. On peut appliquer à ce couple la formule de Thomson puisque l'expérience a montré que la plupart des combinaisons voltaïques à électrolyte alcalin jouissent d'une force électromotrice indépendante de la température. En comparant d'après cette formule l'oxydule de cuivre et l'oxyde de nickel, on trouve

I

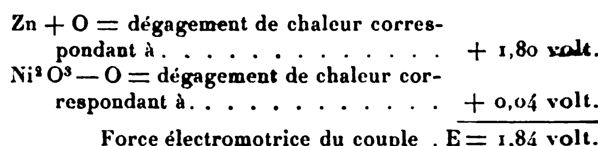


Zn + O = dégagement de chaleur correspondant à . . . . + 1,80 volt.
Cu^2O — O = absorption de chaleur correspondant à . . . . — 0,95 volt.

Force électromotrice du couple . E = 0,85 volt.

(¹) Antérieurement, nous avons tiré la même conclusion. *L'Éclairage Électrique*, t. XXVIII, p. 130.

II



Zn + O = dégagement de chaleur correspondant à . . . . + 1,80 volt.
Ni^2O^3 — O = dégagement de chaleur correspondant à . . . . + 0,04 volt.

Force électromotrice du couple . E = 1,84 volt.

Ces chiffres qui se vérifient expérimentalement montrent la supériorité de l'oxyde de nickel comme dépolarisant. De plus, les deux oxydes de nickel sont, d'après les réactifs chimiques, insolubles dans les alcalis.

De nombreuses recherches ont été entreprises en vue de la fabrication de telles électrodes. Les méthodes employées avec le plomb sont en effet inapplicables ici par suite des propriétés si différentes des deux métaux, il en est de même des méthodes employées pour la fabrication des anodes en oxyde de cuivre. La formation Planté ne réussit pas sur le nickel compact, mais seulement sur le nickel tellement poreux que sa durée et sa solidité en sont fortement compromises.

Un des procédés employés consiste à déposer électrolytiquement un alliage nickel-zinc sur un réseau conducteur, un fin tissu en fil de nickel. Cet alliage est solide, gris, brillant, cassant pour les fortes teneurs en zinc, élastique pour des teneurs ne dépassant pas 10 à 20 p. 100. Le support ainsi recouvert est porté dans une lessive alcaline où, par suite de l'action locale, le zinc se dissout, laissant un squelette de nickel poreux, mais solide. Les pores de celui-ci sont alors remplis d'oxyde de nickel d'après un procédé spécial. Les plaques ainsi obtenues tiennent le milieu entre les plaques Planté et les plaques à grille. Si le nickel poreux peut être assimilé à cette dernière, ses mailles sont de dimensions moléculaires et on peut considérer que presque chaque molécule d'oxyde de nickel est en contact avec le support. Les plaques peuvent ainsi supporter de très fortes intensités de charge et de décharge et la capacité massique obtenue jusqu'ici a atteint 25 ampères-heures par kilogramme d'électrode positive au régime massique de 20 ampères par kilogramme de positive. Le support est absolument inattaquable par le courant et peut par conséquent être très fin. Seul le squelette de nickel poreux se forme peu à peu superficiellement.

Les surcharges, décharges, jusqu'à 0 volt,

repos après décharge, n'exercent aucune action nuisible et à ce point de vue l'électrode oxyde de nickel est très supérieure à l'électrode peroxyde de plomb. Quant au prix du nickel, il ne joue, d'après l'auteur, aucun rôle, car s'il est vrai que le nickel coûte environ six fois plus cher que le plomb, il faut d'abord remarquer qu'il n'y a que la moitié des électrodes en nickel et que pour celles-ci, par unité de capacité, on ne consomme seulement en poids de nickel que la moitié du plomb (1) de sorte que la différence de prix est compensée.

L'auteur rappelle ensuite que l'accumulateur Edison a aussi son anode constituée d'oxyde de nickel et il en décrit la préparation déjà publiée ici (2). Ce procédé de préparation lui suggère les réflexions suivantes : lorsqu'on prépare les agglomérés de bioxyde de manganèse et charbon pour piles, on a soin de ne comprimer que très légèrement le mélange. Dans ces conditions, au régime de deux ampères par kilogramme d'électrode positive, l'épuisement se produit en 2 heures. Si, au lieu de cela, on comprime hydrauliquement le mélange, l'épuisement survient après quelques minutes seulement parce que l'électrolyte ne peut plus pénétrer à l'intérieur de l'anode. D'après l'auteur, les mêmes phénomènes doivent se produire avec l'électrode à oxyde de nickel et graphite. D'un autre côté, si on comprime faiblement ce mélange, il est rapidement désagrégé par l'oxygène qui se dégage.

Quant au graphite, on peut douter, d'après les expériences connues, qu'il résiste longtemps à l'oxygène naissant en solution alcaline.

St. v. Laszczynski conclut qu'on a trouvé dans l'oxyde de nickel un corps convenable comme électrode positive ; mais qu'il n'en est pas ainsi pour les négatives qu'il passe ensuite en revue.

La plus simple et la plus vieille est l'électrode soluble de zinc, dans la potasse ou la soude (type Waddell-Entz). Elle jouit de l'avantage de ne pas baisser de capacité dans le cours de son utilisation, la matière active étant toujours déposée fraîchement à chaque charge.

En composant un élément d'une telle cathode (avec support en tôle d'acier amalgamé) et d'une anode en oxyde de nickel, on obtient un élément fonctionnant sans défaut si on laisse un espace suffisant entre les électrodes. Il n'y a pas d'action locale, et si le zinc forme quelques mamelons pendant la charge, ils disparaissent à la décharge et il n'en résulte pas d'inconvénient.

La courbe de la figure 1 indique la charge de tension d'un tel élément déchargeant à 15 ampères et comprenant

2 positives	150 × 150 mm	pesant	710 gr
3 négatives	150 × 150 mm	pesant	105 gr
Soit un poids total d'électrodes de. .			815 gr

La tension moyenne est ici de 1,60 volt. Elle monte à 1,65 volt pour la décharge en 2 heures et à 1,70 volt pour celle en 3 heures.

Malheureusement on ne peut employer cet accumulateur comme élément transportable, le rapprochement indispensable des plaques provoquant des courts-circuits.

On a cherché à diminuer le poids des accumulateurs en agissant sur le vase et sur l'électrolyte. Avec les accumulateurs alcalins, on peut prendre un récipient en tôle d'acier qui est plus légère que l'ébonite. Par contre, la quantité d'électrolyte ne peut pas être limitée sans que la capacité baisse ; c'est que la solubilité du zinc dans les alcalis n'est pas très grande et au-dessus de 15 p. 100 de zinc, la solution commence à déposer des cristaux de zincate. A ce point de vue, l'électrode soluble est moins appropriée que l'électrode insoluble.

Dans un brevet de 1898, Jungner a décrit un accumulateur à électrolyte invariable, les électrodes ne faisant que s'oxyder et se réduire successivement tout en restant insolubles. Comme négative, il employait du cuivre poreux, et comme positive, du peroxyde d'argent. En 1896, Pollak avait déjà breveté un élément basé sur le même principe et dont les deux électrodes étaient constituées de fer poreux.

Dans ces cas, l'électrolyte sert seulement de conducteur sans prendre part aux réactions ; un

(1) Nous ferons remarquer ici que la comparaison doit s'établir seulement entre les deux électrodes positives dans les deux cas et que, pour ce qui est de la quantité de métal à engager par ampère-heure, il faut tenir compte des coefficients d'utilisation pratique de la matière active. Pour ces raisons et en considérant que le prix actuel du nickel est au moins dix fois plus élevé que celui du plomb, nous persistons à penser que, même à égalité de capacité, l'anode oxyde de nickel est plus chère que l'anode peroxyde de plomb.

(2) *L'Éclairage Électrique*, t. XXVIII, p. 124.

poids faible de celui-ci suffit alors et le poids total de l'élément diffère peu de celui des électrodes.

L'élément Jungner au cuivre-peroxyde d'argent est complètement réversible ; mais sa force électromotrice n'atteint que 0,95 volt. L'inventeur a proposé aussi de remplacer le cuivre par le cadmium, dont l'oxyde est également insoluble dans les alcalis, et qui élève à 1,5 volt la force électromotrice.

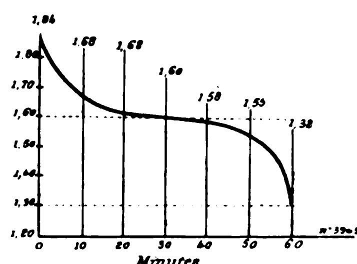


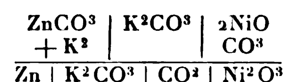
Fig. 1.

L'accumulateur Edison est construit d'après les mêmes principes que l'élément Jungner ; ici la cathode insoluble est constituée par du fer poreux mélangé à du graphite. L'opinion de l'auteur à ce sujet est que le fer n'est pas apte à faire une bonne cathode. Si on réduit par le courant la magnétite naturelle Fe^3O^4 qui est assez bonne conductrice (à peu près comme le charbon de cornues), on obtient bien superficiellement du fer métallique ; mais si on renverse le courant, l'électrode en fer se polarise. D'autre part, une pastille d'oxyde de fer ou d'oxydule de fer, placée comme cathode, est à peine réduite en solution alcaline.

Pollak a bien obtenu, par incandescence du nitrate de fer, des électrodes poreuses en fer ayant, paraît-il, une assez grande capacité ; mais pendant la décharge, la force électromotrice diminuait constamment.

St. v. Laszczynski a entrepris des recherches sur les cathodes en nickel poreux ; mais sans succès. En réalité, il est possible d'obtenir avec celles-ci une capacité massique très grande (atteignant 100 ampères-heure par kilogramme d'électrodes, support compris) avec une chute de tension cathodique de 0,3 volt ; mais après une première charge, la capacité de la plaque est déjà moindre et elle diminue ainsi à chaque charge successive. L'auteur rapproche ce fait de l'observation que les plaques de nickel poreux qui servent longtemps comme cathodes absorbent l'hydrogène et finalement tombent en poudre qui n'a plus alors de capacité [1].

Il expose ensuite des recherches intéressantes entreprises avec des anodes en oxyde de nickel, de Michalowski. En prenant comme électrolyte un carbonate alcalin et en constituant la cathode par une plaque de zinc empâtée d'un mélange de carbonate de zinc et d'eau, il se passe, à la charge, les réactions suivantes :



$$\frac{\begin{array}{c|c|c} ZnCO^3 + K^2 & K^2CO^3 & 2NiO\ CO^3 \end{array}}{Zn \mid K^2CO^3 \mid CO^2 \mid Ni^2O^3}$$

L'acide carbonique libre forme du bicarbonate avec K^2CO^3 et on a finalement



$$Zn \mid 2KHCO^3 \mid Ni^2O^3$$

Avec un tel électrolyte, le zinc devient une électrode insoluble comme est le plomb spongieux dans l'accumulateur au plomb et les inconvénients signalés plus haut n'existent plus. A la décharge, il se reforme du carbonate de zinc et la force électromotrice du couple atteint 2,10 à 2,20 selon la quantité de bicarbonate employée. La décharge s'effectue comme dans une solution hydratée d'acide carbonique. Si on a chargé séparément la plaque d'oxyde de nickel dans la potasse et qu'on la plonge, après lavage à l'eau, dans l'élément, la force électromotrice monte en quelques minutes de 1,84 à 2,10 volts.

Cette belle réaction est malheureusement inutilisable pratiquement parce qu'une solution concentrée de bicarbonate exerce une action dissolvante sur le nickel, de sorte qu'après quelques jours de fonctionnement l'électrolyte en contient des traces. A la charge, ce nickel dissous va se déposer sur la cathode en zinc et y crée des actions locales.

Ces différents exemples montrent combien est large encore le champ des recherches en vue de la découverte de nouveaux types d'accumulateurs.

L. Jumau.

[1] Il nous semble qu'il pourrait bien y avoir là un phénomène semblable, mais amplifié, à celui que l'on constate avec les cathodes en plomb spongieux dont la capacité baisse peu à peu par suite d'une contraction de la matière active qui devient ainsi moins poreuse.

Usines génératrices électriques de Dresde, par **H. Meng**. *Electrotechnische Zeitschrift,* t. XXII, p. 495, 20 juin 1901.

La ville de Dresde est aujourd'hui la seconde ville allemande pour l'importance des stations électriques. La puissance totale que les machines peuvent fournir est de 18 950 chevaux, alors que les groupes électrogènes de Berlin peuvent en produire 38 400 et ceux de Hambourg, qui viennent tout de suite après Dresde, 12 000.

L'énergie est fournie à la partie ouest de la ville de Dresde par deux stations, l'une qui alimente le réseau d'éclairage, l'autre qui fournit la force motrice. Les deux stations sont contiguës et les bâtiments identiques. La salle des machines de la station de force a 20 m de large sur 68 de long (fig. 1 et 2). La distance des machines est de 9,5 m d'axe en axe. La salle des chaudières a 16 m de large sur 74 m de long. Un bâtiment, disposé le long de cette salle, sert de dépôt de charbon. Le charbon est amené à ce dépôt par un embranchement du chemin de fer de l'Etat. La houille arrive directement du wagon à la grille de la chaudière sans exiger aucune manutention. Le charbon tombe directement du wagon dans un entonnoir situé au-dessous de la voie ; de là un plateau, soumis à un mouvement de va et vient, jette le charbon sur une noria qui l'élève à 14 m d'où il tombe sur une bande sans fin qui court sous le toit du dépôt de charbon et amène le combustible au-dessus du compartiment auquel il est destiné. A ce moment une pelle le jette dans ce compartiment. Cette pelle est d'ailleurs amovible et peut être placée au-dessus de l'un des 18 compartiments.

La salle des chaudières peut contenir 18 générateurs doubles, auxquels correspondent les 18 compartiments. Chacun d'eux renferme 25 000 kg de charbon. Le fond des compartiments est en forme d'entonnoir dont la partie inférieure est fermée par un registre. De là le charbon glisse sur des rigoles dont la pente est calculée de telle sorte que, à l'ouverture des registres, le charbon glisse de lui-même mais sans produire d'engorgement. De cette manière, le service des charbons est de beaucoup simplifié et les frais de manutention, naturellement des plus réduits. Un moteur de 15 chevaux dessert l'installation en même temps que le monte-escarbilles. Avec une puissance moyenne de 9 chevaux, on peut amener 28 tonnes à l'heure dans chaque compartiment, de sorte que dans une journée de 15 heures on dispose de 180 tonnes de charbon. Et lorsque toutes les machines marcheront à pleine charge, la consommation totale sera de 120 000 à 150 000 kg.

Outre les compartiments qui peuvent contenir 450 tonnes, il y a encore dans la cour un magasin de charbon d'une capacité de 385 tonnes.

L'eau d'alimentation est prise sur l'eau d'injection des condenseurs et purifiée par un filtre de Rischling. L'eau est puisée dans le réservoir et amenée au filtre au moyen de deux pompes sans volant et débitant 60 m^3 à l'heure. Puis l'eau s'écoule dans deux réservoirs à eau propre de 16 m^3 chacun, placés dans la salle des chaudières. 3 pompes alimentaires de 40 m^3 à l'heure la puisent dans ces réservoirs, la font passer dans un réchauffeur à surface disposé sur l'échappement des machines principales. En outre la vapeur d'échappement des pompes alimentaires traverse un radiateur placé dans les réservoirs à eau propre.

Il y a actuellement 16 chaudières doubles : 10 d'entre elles construites par Sulzberger et Cie ont chacune 112 m^2 de surface de chauffe ; et 6 d'entre elles construites par la fabrique de machines de Dresde ont 120 m^2 de surface de chauffe. Aux essais de recette, les chaudières ont vaporisé de 26 à 28 kg d'eau par mètre carré et par heure aux charges moyennes. La puissance évaporatoire a été pour les chaudières de la Sulzberger C° de 4,23 kg d'eau et pour les chaudières de la fabrique de Dresde de 4,32 kg d'eau pour 1 kg de charbon de Bohême de 4 100 calories.

Les chaudières sont à grilles étagées, qui sont exclusivement aptes à l'emploi de certaines sortes de houilles de Bohême, mais qui les utilisent parfaitement bien et sans fumée.

La cheminée a 70 m de hauteur et 3,50 m de diamètre intérieur en haut. Les fondations de la cheminée sont consolidées par des ferrures et entourées de canaux de refroidissement qui les préservent des déchirures. La canalisation d'eau d'alimentation est en boucle et la canalisation de vapeur est disposée de la façon suivante. Deux collecteurs de vapeur sont portés par des anneaux et disposés le long du mur mitoyen entre la salle des chaudières et la salle des machines. De chaque chaudière partent deux conduites

allant à chacun des collecteurs, et chaque machine est alimentée par deux conduites venant de chacun des collecteurs.

L'induit des dynamos est fixé directement contre le volant de la machine à vapeur ; ce dispositif robuste et élégant donne une grande sécurité d'exploitation.

Actuellement deux des groupes de 1 200 chevaux sont suffisants ; mais avec l'extension que prend le transport de force chez les particuliers, on prévoit qu'un troisième groupe sera bientôt nécessaire ; les deux derniers constitueront une réserve de 40 p. 100, bien suffisante.

3 des groupes ont été construits par les ateliers d'Augsbourg et Schuckert ; 2 des groupes ont été construits par les ateliers de Dresde et Kummer et C°.

Les machines à vapeur sont tandem-compound. Les dimensions des cylindres sont 750/1150 mm pour les machines d'Augsbourg avec 1 400 mm de course et 775/1250 mm pour les machines de Dresde avec 1250 mm de course. Avec un vide de 65 cm et une pression de 9,5 atmosphères, les machines des ateliers de Dresde donnent leur pleine puissance pour une admission de 18 p. 100 et les machines des ateliers d'Augsbourg pour une admission de 20 p. 100. L'admission correspondant à la puissance maxima est de 24 p. 100 pour les machines de Dresde et de 25 à 33 p. 100 pour celles d'Augsbourg. Les essais de recette ont donné une consommation, par cheval indiqué, de 5,99 kg de vapeur pour les machines d'Augsbourg et de 5,6 kg pour celles de Dresde (à pleine charge).

Les dynamos sont à enroulement shunt. L'induit sert à accroître l'inertie qui est égale à $Gv^2 = 12\,000\,000$ à la vitesse de 85 tours : m. Des bras en bronze phosphoreux réunissent l'induit au volant. Les induits de Schuckert sont pourvus de ressorts spéciaux qui compensent les variations du diamètre aux diverses températures. Elles ont 28 pôles tandis que celles de Kummer n'en ont que 18. L'alésage de ces dernières est de 3315 mm, tandis que l'alésage des dynamos Schuckert est de 5550 mm. Le collecteur de Schuckert a 3000 mm de diamètre tandis que celui de Kummer n'en a que 2750 mm.

La puissance maxima des dynamos est de 834 kilowatts sous 520 volts.

L'eau naturelle faisant défaut pour la condensation, on a été obligé de recourir à des réfrigérants. Ceux-ci, construits par Belcke et C°, peuvent refroidir 1 300 m³ à l'heure de 20° C. environ. Comme ce réfrigérant nécessite des pompes pour élever l'eau, on a été conduit à adopter un système de condensation centrale pour toutes les machines, la pompe à eau servant également à produire le vide. On a installé à cet effet trois pompes, dont deux fonctionnant simultanément et pouvant condenser 36 000 kg de vapeur à l'heure. La troisième sert de réserve. Ces pompes comprennent une machine compound jumelle (300-480-450 mm) à une vitesse de 115 tours, et une pompe jumelle. Les régulateurs des machines permettent de régler la vitesse suivant la charge de 50 à 115 tours par minute. Deux pompes à vapeur spéciales servent à extraire l'eau de condensation de la canalisation d'échappement ainsi que l'huile de graissage de cylindre ; chacune de ces pompes suffit à elle seule pour toute la station. Elles sont actionnées par des machines compound verticales sans piston et peuvent débiter de 60 à 80 m³ à l'heure.

La canalisation principale d'échappement est constituée par un tuyau de section croissante avec le débit de vapeur, le diamètre maximum étant de 1 200 mm. Le tuyau débouche dans le réchauffeur dont il a été question plus haut, qui a un diamètre de 1 500 mm et une hauteur de 6 m. Une soupape de sûreté s'ouvre lorsque, par suite de la chute du vide, la pression atteint 0,1 atmosphère. Il en résulte que les machines continueraient à marcher à air libre jusqu'à ce que le vide s'établisse. Les essais ont montré que le passage de la marche à condensation à la marche à air libre se faisait très régulièrement, sans apporter aucun trouble.

L'eau de condensation huileuse est recueillie dans un grand clarificateur en maçonnerie, d'où l'huile est ensuite séparée. Cette séparation est basée sur le principe suivant : lorsque l'eau s'élève à très faible vitesse, l'huile s'en détache et surnage à la surface. Des cloisons spéciales forcent l'eau chargée d'huile à s'élever et à redescendre quatre fois, de sorte que l'huile est séparée quatre fois. On arrive ainsi à recueillir 90 p. 100 de l'huile introduite dans les cylindres.

Le tableau de distribution a été construit par Schuckert et comprend deux parties, l'une pour les machines, l'autre pour les lignes. Comme le

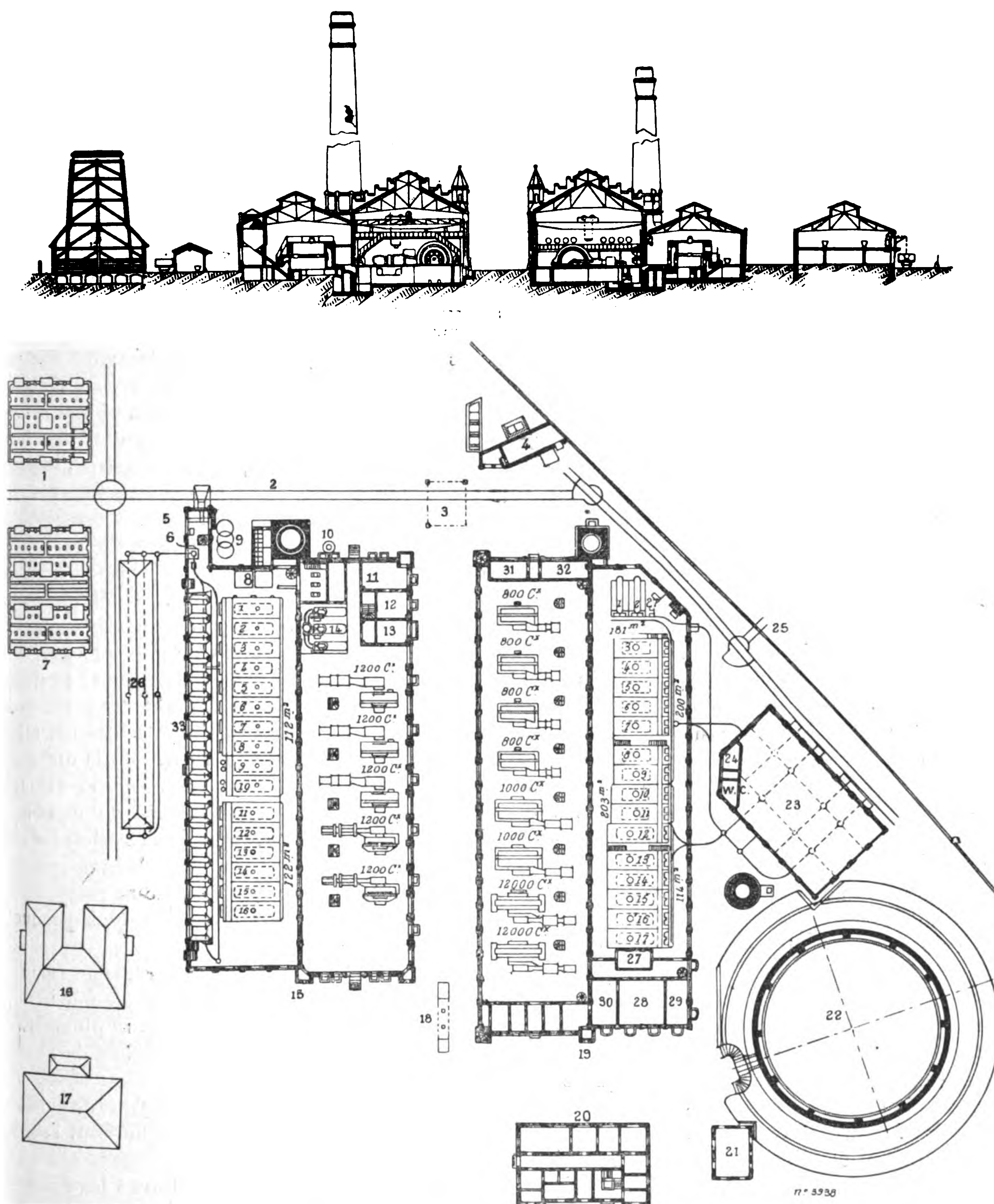


Fig. 1 et 2. — Usines génératrices de Dresde.

1. Economiseur de la station de lumière. — 2. Voie de chemin de fer. — 3. Grue. — 4. Commande des plaques tournantes. — 5. Elévation du charbon. — 6. Monte charge. — 7. Economiseur de la station de force. — 8. Réservoir d'eau d'alimentation. — 9. Epurateur. — 10. Pompes alimentaires. — 11. Atelier. — 12. Chef d'atelier. — 13. Chef mécanicien. — 14. Condenseurs. — 15. Station de force ouest. — 15. Magasin. — Logements du personnel. — 18. Séparation d'huile. — 19. Station de lumière. — 20. Bâtiment de la direction. — 21. Régulateur du gaz. — 22. Gazomètre. — 23. Dépôt de charbon de la station de lumière. — 24. Salle de bains. — 25. Embranchement du chemin de fer de l'Etat. — 26. Dépôt de charbon de la station de force. — 27. Pompes alimentaires. — 28. Ateliers de mécanique. — 29. Serrurerie. — 30. Forge. — 31. Contremaitre. — 32. Contremaitre mécanicien. — 33. Compartiments à charbon.

pôle négatif est à la terre, il en résulte qu'il est inutile d'isoler ce pôle et de le protéger par des coupe-circuits.

C'est pourquoi le pôle + figure seul sur le tableau. Pour le pôle —, on s'est contenté de disposer, sous le tableau, un rail auquel aboutissent d'une part les pôles — des machines (avec un verrou) et, d'autre part, les lignes de retour en cuivre ou venant des rails de tramways. Bien entendu, pour les circuits des voltmètres et des rhéostats de champ, le pôle — figure sur le tableau.

Les feeders partant du tableau alimentent les sections des voies de tramways, sections dont la longueur ne dépasse jamais 3 km. A chaque feeder correspond sur le tableau un panneau avec un interrupteur à main, un interrupteur automatique, un coupe-circuit, un parafoudre et un ampèremètre. L'interrupteur automatique est pourvu d'un avertisseur qui prévient l'employé du tableau de son fonctionnement.

Le tableau des machines comporte encore un ampèremètre et un voltmètre enregistreurs ; ce dernier peut être branché aux extrémités des fils pilotes venant des divers feeders. Un indicateur montre, au moment du couplage des machines, si l'on va réunir des pôles de même nom, ou si les pôles de l'une sont inversés. Si un interrupteur automatique a fonctionné, une lampe fait savoir, par son éclat plus ou moins grand, si le court-circuit subsiste encore ou est supprimé. Enfin, un indicateur de vide enregistreur et un manomètre enregistreur permettent de surveiller les machines du tableau.

La salle des machines est desservie par un pont roulant d'une portée de 20 m et d'une force de 35 tonnes. La translation est électrique, les autres mouvements se font à main et peuvent toujours être effectués par deux hommes.

L'exploitation a commencé le 1er juillet; la construction avait duré 16 mois et demi ; les dépenses se sont élevées à 2 500 000 fr, l'achat du terrain non compris. E. Beutom.

DIVERS

Influence d'un courant électrique passant dans l'air sur les phénomènes dans les tubes capillaires, par **S. Lemstrœm**. *Drude's Ann.*, t. V, p. 729-757, juillet 1901.

Le tube capillaire plonge dans un vase plein d'eau relié à l'une des armatures d'une bouteille de Leyde : cette armature communique aussi avec l'une des boules d'un micromètre à étincelles ; l'autre est reliée à la deuxième boule du micromètre et au sol. Au-dessus du tube capillaire, sur la même verticale, est disposée une pointe, en communication métallique avec l'un des pôles d'une machine à influence, dont l'autre pôle est au sol. Quand on fait fonctionner la machine, l'électricité passe de la pointe à la surface de l'eau du vase à travers l'air.

Lorsque la pointe est reliée au pôle négatif de la machine, le ménisque s'élève le long des parois du tube et il se forme à l'extrémité une ou plusieurs gouttelettes. Mais les résultats ne sont pas réguliers, c'est-à-dire qu'on n'observe pas toujours le même nombre de gouttelettes formées pendant un intervalle de temps, même quand l'intensité du courant mesurée par le nombre d'étincelles est la même.

Cette formation de gouttelettes s'observe encore alors que la distance entre la pointe et la surface de l'eau atteint 75 cm : au delà de cette distance, on aperçoit encore une ascension de l'eau, mais sans séparation de gouttelettes.

La quantité d'eau ainsi soulevée est proportionnelle à l'intensité du courant (mesurée par le nombre d'étincelles), cette intensité est elle-même en raison inverse du carré de la distance qui sépare la pointe du sommet du ménisque. Cette quantité d'eau dépend aussi du diamètre du tube, de sa longueur et de la résistance du circuit.

Elle est encore proportionnelle au temps pendant lequel le courant agit, au moins pendant les premiers instants.

Les dissolutions salines se comportent comme l'eau quand elles sont étendues (1 gr par litre), mais la quantité soulevée est toujours plus petite.

L'auteur a étudié aussi l'influence de l'électrisation sur la végétation, en plaçant au-dessus des plantes une toile métallique garnie de pointes et reliée à une machine électrique dont l'autre pôle communique avec le sol.

La végétation a été activée toutes les fois que la toile était en communication avec le pôle négatif de la machine ; c'est-à-dire quand l'électrisation tendait à favoriser l'ascension de la sève dans les vaisseaux capillaires des plantes.

M. Lamotte

Le Gérant : **C. NAUD.**

Tome XXIX. Samedi 9 Novembre 1901. 8e Année. — N° 45.

L'Éclairage Électrique

REVUE HEBDOMADAIRE DES TRANSFORMATIONS

Électriques — Mécaniques — Thermiques

DE

L'ÉNERGIE

FREINS DYNAMOMÉTRIQUES

A ACTIONS MAGNÉTIQUES ET ÉLECTROMAGNÉTIQUES

I. — Le disque de Foucault est devenu un appareil de mesure, quand on l'a disposé de manière à pouvoir mesurer le couple électromagnétique qui prend naissance quand le champ magnétique est excité. L'appareil de Foucault n'est pas autre chose alors qu'une génératrice à induit en court-circuit, et le principe de mesure rappelé ci-dessus n'est qu'une application de celui indiqué par M. Marcel Desprez pour l'essai en marche des génératrices ordinaires.

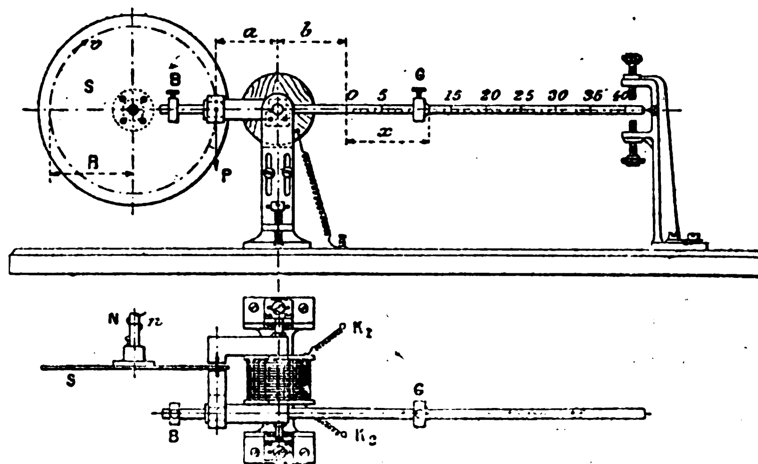


Fig. 1. — Frein Siemens et Halske pour faibles puissances.

Si le disque, au lieu d'être en cuivre, eût été en fer, le travail d'hystérésis se serait superposé au travail électromécanique, car chaque point du disque aurait parcouru un nombre de cycles d'aimantation égal au nombre de paires de pôles. Les freins dynamométriques fondés sur les actions électromagnétiques ou magnétiques ont aujourd'hui pris leur place dans les laboratoires industriels et nous allons étudier quelques types intéres-

**

sants à des titres divers : les freins de la Société Siemens et Halske, de Pasqualini, de Feussner et de Rieter.

Les freins de ces types ont sur les freins de Prony le double avantage de permettre un

Fig. 2. — Frein de la Société Siemens et Halske.

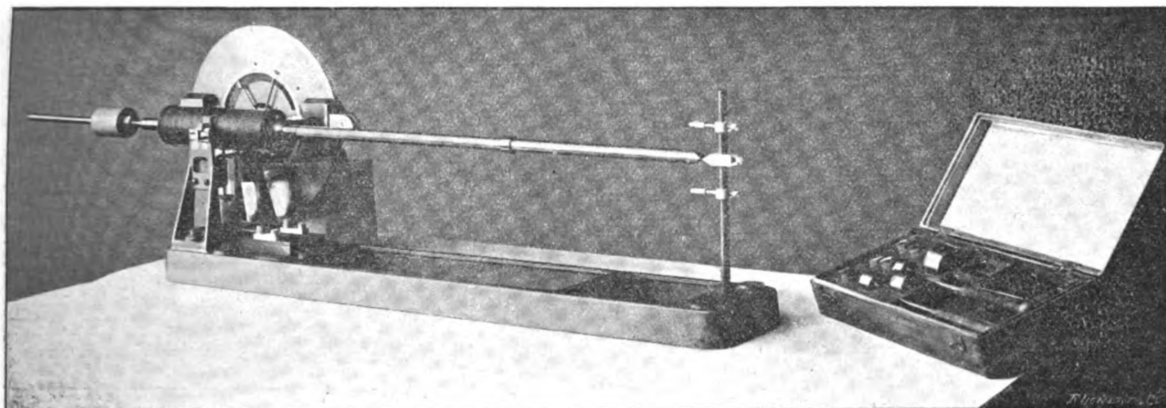
réglage absolu de la puissance fournie par le moteur à l'essai et, si le courant d'excitation est bien constant, de conserver leur position d'équilibre pendant un temps suffisant pour qu'on fasse des lectures exactes. On peut disposer l'appareil de manière qu'il ait beaucoup de sensibilité, ce qui est relativement facile, car c'est une balance de forme spéciale, et l'on peut connaître alors avec une grande précision la puissance fournie par le moteur. Si d'autre part on peut mesurer avec une précision de même ordre la puissance absorbée par ce moteur, comme c'est le cas pour les machines électriques à courant continu, on obtiendra une valeur très exacte du rendement. On pourra compter, avec le meilleur frein électromagnétique et dans de bonnes conditions, sur une précision environ dix fois supérieure à celle que l'on serait en droit d'attendre dans un essai bien exécuté avec un frein de Prony.

Fig. 3. — Manchon de la Société Siemens et Halske.

Ces appareils, identiques comme principe, offrent des particularités de construction très intéressantes : leur usage demande certaines précautions, et il est nécessaire de voir en détail les unes et les autres afin de se faire une opinion sur la valeur de ces instruments dans la pratique industrielle.

Le travail absorbé se transforme en chaleur et l'organe dans lequel se développent les courants de Foucault ou les phénomènes d'hystérésis s'échauffe. C'est toujours cet échauffement qui limite la capacité des appareils et pour deux de ceux que nous allons étudier, les inventeurs se sont préoccupés tout particulièrement du refroidissement.

Dans les freins qui utilisent un disque de cuivre, c'est ce dernier qui participe au mouvement de l'arbre de la machine que l'on essaye, et les inducteurs constituent une masse équilibrée mobile autour d'un couteau de balance : les appareils correspondants ne servent



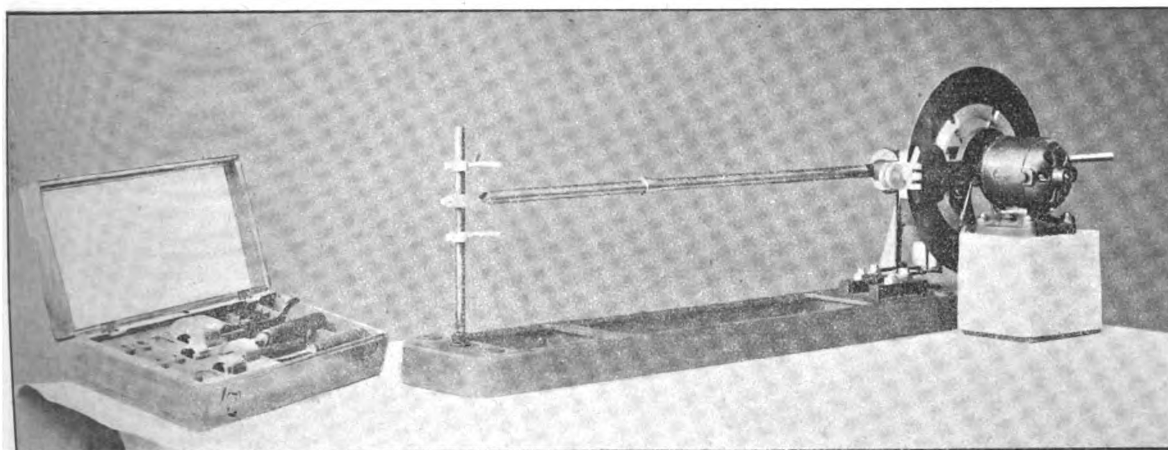


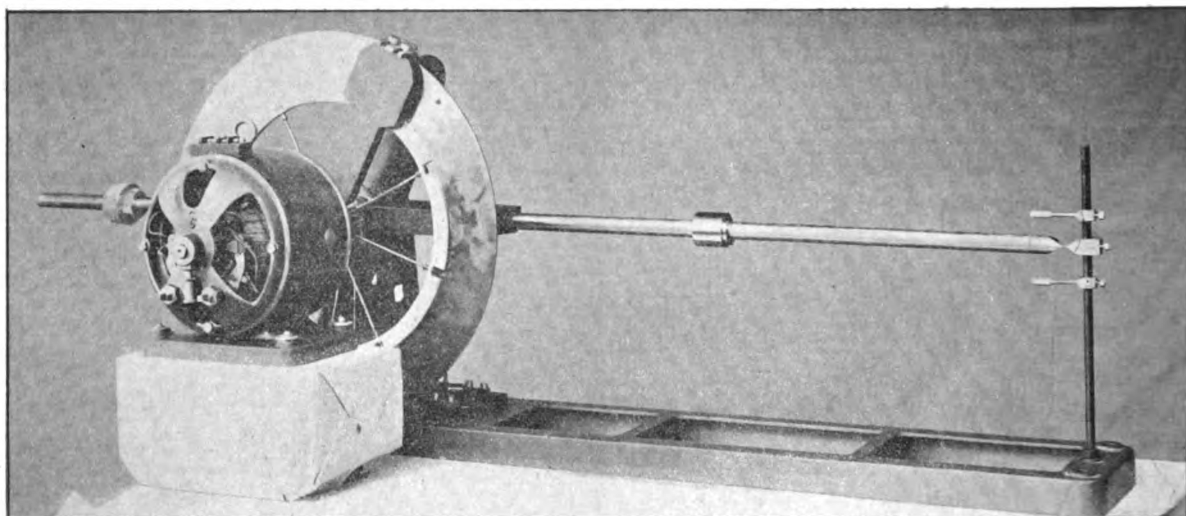
Fig. 4. — Frein de la Société Siemens et Halske.

que pour des puissances relativement faibles. Dans le frein de Rieter, les inducteurs sont mobiles sur billes et les courants induits se développent dans un anneau d'acier. Dans tous les systèmes, le couple électromagnétique ou d'hystérésis est équilibré par des poids connus que l'on déplace sur un levier gradué. La position d'équilibre est indiquée par une aiguille ou mieux par un fil à plomb venant se déplacer devant un repère.

II. Frein de la Société Siemens und halske. — L'*Éclairage Électrique* a déjà décrit la forme primitive de ce frein (¹) et la figure 1 reproduit le schéma de l'appareil destiné à la mesure de puissances faibles.

(¹) *L'Éclairage Électrique*, t. XXIV, p. 71 et *E. T. Z.*, t. XXI, p. 265.

Pour les machines un peu plus importantes, on emploie le dispositif de la figure 2. On reconnait en E le disque de cuivre, en D les bobines excitatrices de l'électroaimant A : ces bobines aboutissent à des godets à mercure K. La culasse B est maintenue à une distance fixe



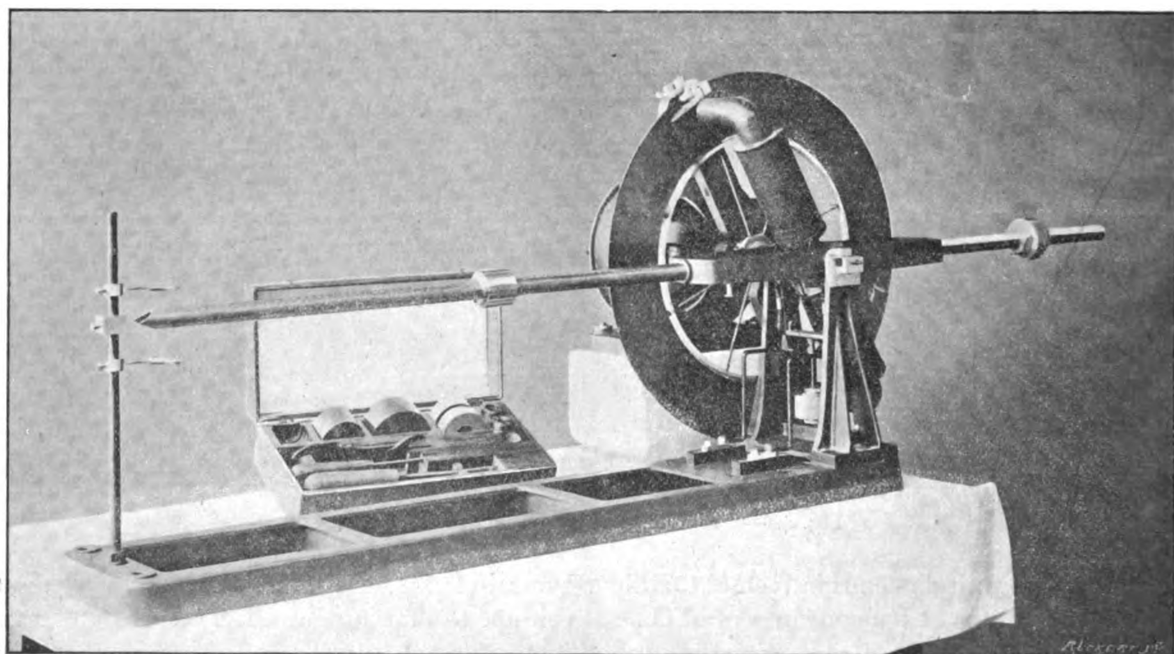


Fig. 5. — Frein de la Société Siemens et Halske.

des pôles par deux traverses en cuivre C. L'électroaimant porte un tube de cuivre gradué sur lequel est mobile le poids curseur G. De l'autre côté, un poids formant l'écrou d'une vis permet les réglages. L'ensemble est porté par deux couteaux de balance.

La puissance freinée se calcule par la formule :

$$W = \frac{2\pi n . b . G.}{60.75}$$

dans laquelle W est la puissance exprimée en chevaux;
n le nombre de tours par minute du disque de cuivre;
b la lecture à la tige graduée;
G le poids en kilogrammes du curseur.

Dans la construction, on s'arrange pour que la constante de l'instrument, c'est-à-dire $\frac{2\pi G}{60.75}$ soit un nombre entier et simple.

La construction de l'appareil lui-même ne présente pas de particularités, mais un organe intéressant est le manchon universel qui permet de fixer le disque de cuivre sur les arbres de diamètre variable des machines à essayer. Il est représenté dans la figure 3.

Ce manchon se compose d'une boîte en trois parties A, maintenue par un écrou dans un logement conique ménagé dans le moyeu du disque de cuivre.

Il existe deux modèles de ce frein, l'un peut freiner au maximum un tiers de cheval, l'autre au maximum un cheval.

Les figures 4 et 5 représentent chacune deux vues de ces freins. On y remarque que le disque est remplacé par un anneau maintenu sur la jante d'une roue à rayons droits.

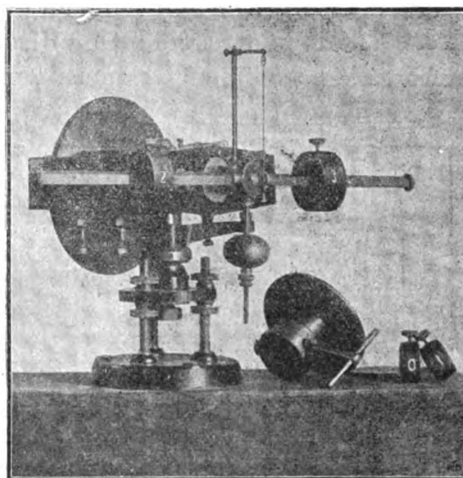


Fig. 6. — Frein Pasqualini.

Voyons maintenant la préparation d'une expérience. Le disque étant immobile, le curseur au zéro et les inducteurs non excités, on règle l'équilibre à l'aide de l'écrou contrepoids. On fait alors passer dans les bobines inductrices un courant égal au courant d'excitation maximum; l'équilibre est détruit par suite

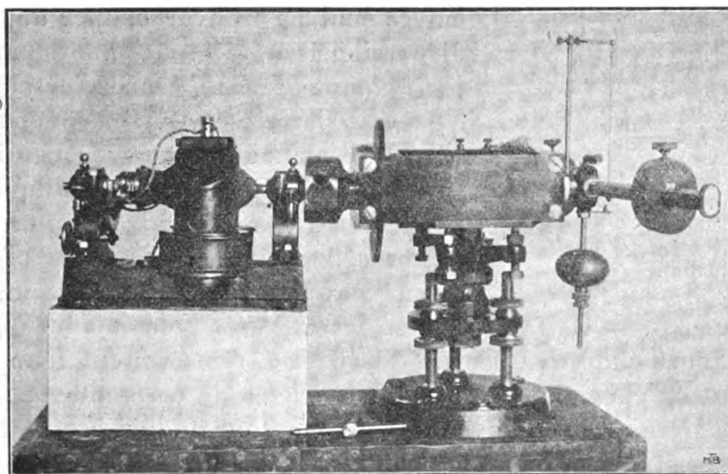


Fig. 7. — Frein Pasqualini.

de l'action du champ terrestre. Il faut alors déplacer l'appareil dans l'espace jusqu'à lui donner une position pour laquelle l'équilibre soit rétabli.

On coupe enfin l'excitation et on met le moteur en marche; on peut alors commencer l'expérience.

Il y a dans la mesure quelques précautions à prendre :

Il importe de se rendre compte du magnétisme rémanent des électros. Pour cela, il suffit de faire tourner le disque de cuivre à une certaine vitesse avec les inducteurs non excités et de noter le couple à équilibrer. On remplace alors le disque de cuivre par un disque de mêmes dimensions, mais non métallique et on recommence l'expérience à la même vitesse. Si on constate qu'un couple a pris naissance, il est dû à l'action de l'air entraîné dans le mouvement du disque. La différence des couples équilibrés dans la première et la seconde expérience donne la mesure de l'effet du magnétisme rémanent : il est généralement négligeable, mais il le devient certainement si l'on fait passer dans les enroulements inducteurs un courant inverse.

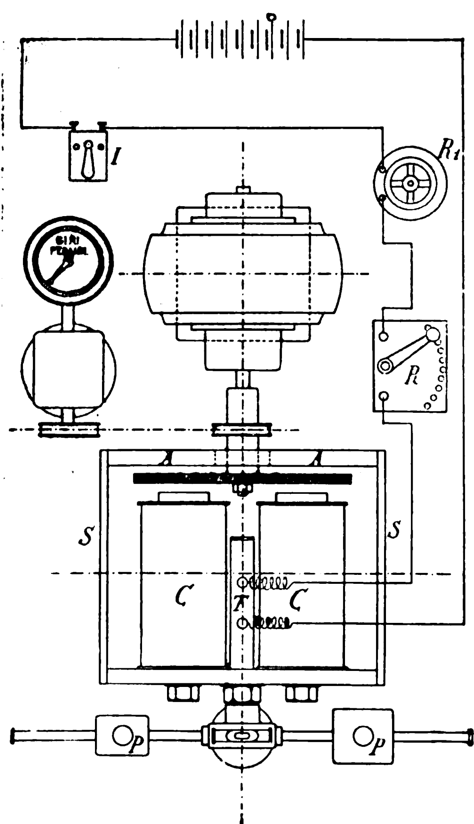


Fig. 8. — Schéma du montage d'un frein Pasqualini.

L'effet nuisible de l'entraînement de l'air sera atténué si l'on augmente l'entrefer, et on corrigera l'erreur en faisant un tarage préalable de l'appareil pour différentes vitesses, les électroaimants n'étant pas excités, et le disque de cuivre étant remplacé par un disque non métallique.

Remarquons en passant que, dans des appareils de ce genre, l'entrefer doit forcément être important, afin de tenir compte du léger jeu longitudinal que présentent les induits. Avec un entrefer trop faible, le disque irait frotter sur les organes oscillants et toute mesure serait rendue impossible, si même l'appareil n'était pas avarié.

En second lieu, dans le cas où l'on opère sur un moteur électrique de qualité médiocre, le disque de cuivre peut se trouver couper une partie du flux de dispersion issu de la machine soumise à l'essai. On tient compte de cette cause d'erreur en faisant deux mesures à la même vitesse, comme nous l'avons vu pour le rémanent, l'une avec le disque métallique, l'autre avec le disque non métallique.

Il faut d'ailleurs tenir compte des observations qui précèdent, quoique dans une plus ou moins large mesure, avec tous les freins à courants de Foucault.

III. Frein Pasqualini. — Ce frein permet des mesures plus étendues que le précédent : on peut atteindre douze chevaux. Les figures 6 et 7 représentent le montage d'un frein sur un moteur de deux chevaux, la figure 8, le schéma de ce montage. Dans cette figure, A est le disque de cuivre, T le couteau de balance autour duquel oscille l'ensemble inducteur, le tachymètre est indiqué « Giri per min. ». R et R_1 sont les rhéostats de réglage du champ.

Une tige graduée porte un poids de chaque côté de l'axe : la course maxima de ces poids est de 0,50 m, et suivant la sensibilité désirée, on choisit le poids le plus convenable.

Afin d'augmenter la précision de lecture, c'est au fil à plomb qu'on repère la position d'équilibre.

La suspension du système magnétique rappelle celle des balances de précision. On retrouve la fourchette de soutien sur laquelle repose la partie oscillante pendant les

moments où l'appareil n'est pas utilisé et qui limite les oscillations pendant les mesures : la sensibilité est réglée à l'aide d'un poids plus ou moins rapproché du centre de gravité.

La figure 9 représente l'organe de soutien des électroaimants. Trois robustes vis calantes permettent d'abaisser ou d'élever le couteau autour duquel ces électros oscillent, de manière à bien amener l'axe de l'appareil à la hauteur de celui du moteur.

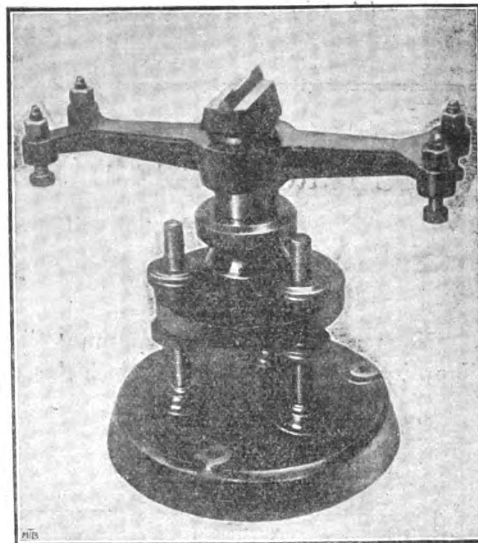


Fig. 9. — Suspension des électro-aimants du frein Pasqualini.

On aperçoit au-dessus le collier à vis à l'aide duquel on fait monter la fourchette double qui vient soulever le système magnétique. L'extrémité de chacune des branches de la fourchette porte une vis que l'on utilise pour le réglage de l'amplitude des oscillations.

Les électroaimants, au nombre de deux, sont composés de noyaux d'acier portant un prolongement fileté dont l'écrou vient faire serrage sur la culasse. Les tiges filetées passent par des ouvertures allongées, de manière à ce qu'on puisse éloigner ou rapprocher les noyaux l'un de l'autre, selon le diamètre du disque.

La figure 10 représente le montage du disque sur l'arbre du moteur à essayer : elle laisse voir le goujon qui assure l'entraînement du disque et la poulie à gorge de 10 cm de diamètre pour la courroie du tachymètre. L'inconvénient de ce dispositif réside dans ce fait qu'il faut avoir un manchon pour chaque diamètre d'arbre, ce qui pourrait faire préférer un manchon à centrage automatique.

Il existe trois types de freins Pasqualini :

Le petit modèle permet de mesurer les puissances inférieures à un cheval. On peut utiliser avec lui deux modèles de disques ayant respectivement comme diamètre 15 et 19 cm et deux poids ayant respectivement, comme valeur, 1,948 kg et 4,870 kg, et comme constante 20 et 50 watts.

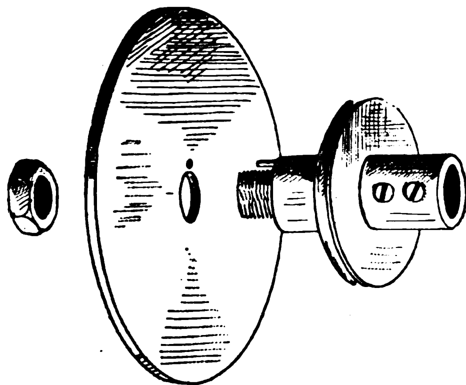


Fig. 10. — Manchon et disque Pasqualini.

Le modèle moyen permet de mesurer les puissances inférieures à huit chevaux, avec deux modèles de disques, 25 et 35 cm de diamètre, et trois poids de valeur respective, 1,790 kg, 3,580 kg et 7,160 kg, et de constante 0,0025, 0,005 et 0,010 cheval. Pour obtenir avec ce frein le couple correspondant à un moteur de huit chevaux à 1 000 tours, il faut dépenser à peu près 1 kilowatt.

Avec le grand modèle on peut mesurer au maximum 12 chevaux. Les disques ont des diamètres de 35 et 44 cm ; les poids, des valeurs de 3,580 kg, 7,160 kg et 10,740 kg, et des constantes de 0,005, 0,010 et 0,015 cheval.

Le point faible des deux freins ci-dessus, c'est l'impossibilité de faire avec eux des essais de durée avec la charge maximum, tant le disque s'échauffe. Il faut avoir recours à une réfrigération artificielle, telle que l'application de glace ; ceci a le double inconvénient

d'être peu commode et de fausser les mesures. C'est, en fait, l'échauffement qui empêche de construire des grands modèles de ces freins, car il deviendrait presque impossible de rafraîchir le disque et surtout le palier adjacent qui, déjà, travaille beaucoup d'autre part.

(*A Suivre*).

Jacques GUILLAUME.

RECHERCHE DES DÉFAUTS ET CONTROLE DE L'ISOLEMENT

SUR LES RÉSEAUX ÉLECTRIQUES

Nous avons exposé récemment [1] une généralisation de la méthode de la boucle en vue de l'application de cette méthode à des recherches de défauts sur des lignes présentant un nombre quelconque de dérivations ramifiées elles-mêmes en d'autres dérivations plus ou moins complexes. Nous en rappellerons succintement le principe et l'application.

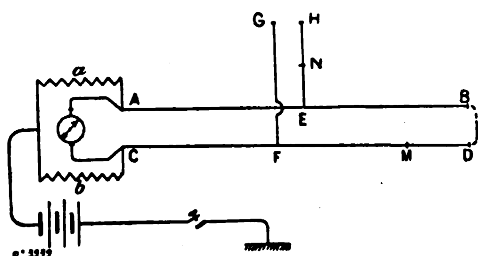


Fig. 1.

Supposons qu'on ait à rechercher une terre sur une ligne AB, CD présentant une seule dérivation FG, EH (voir fig. 1). On fait le montage ordinaire de la méthode de la boucle en AC, au moyen de résistances variables, mais connues, a et b, ou bien d'un fil calibré, d'un galvanomètre et d'une pile (fig. 1). On boucle ensemble les extrémités BD, et on fait varier a et b jusqu'à ce que l'équilibre soit réalisé au galvanomètre.

Appelons x, y, deux résistances dont la somme soit égale à la résistance R de la boucle ABCD et dont le rapport $\frac{x}{y}$ soit égal au rapport $\frac{a}{b}$ réalisé au moment de l'équilibre, de telle sorte que

$$\frac{x}{y} = \frac{a}{b}$$

et

$$x + y = \mathrm{R};$$

on en tire immédiatement :

$$x = \frac{a}{a+b} \cdot \mathrm{R}$$

$$y = \frac{b}{a+b} \cdot \mathrm{R}$$

Ces résistances x, y ainsi obtenues déterminent un certain point sur la boucle ABCD, et ce point est, d'après la théorie du pont de Wheatstone, celui où aboutit la diagonale du pont qui renferme la pile. Or, d'après le montage de la figure 1, ou bien ce point est directement à la terre et alors c'est le défaut cherché, ou bien, c'est le point de départ sur la boucle ABCD d'un conducteur qui va rejoindre quelque part la terre.

Il en résulte immédiatement que si le point déterminé par x, y n'est ni E, ni F, ce sera un certain point M de la ligne ABCD où se trouve le défaut; que si, au contraire, les résistances x, y

(1) Voir *L'Éclairage Électrique* du 9 mars 1901.

correspondent à l'un des points E ou F, le défaut sera en l'un de ces points ou bien sur l'un des conducteurs qui quittent la boucle ABCD en ces points.

Pour lever l'incertitude dans ce dernier cas, il suffira de constituer une nouvelle boucle, en réunissant G et H après avoir séparé B, D. Une nouvelle mesure donnera deux nouvelles valeurs x', y', qui détermineront le défaut sans ambiguité, soit qu'elles correspondent à l'un des points de jonction EF, soit qu'elles donnent un point N de la dérivation FG, EH sur la boucle AEHGFC; et suivant le cas, le défaut sera en E, en F, ou au point N correspondant à x', y'.

Pour appliquer ce principe dans un des cas les plus généraux de la pratique, considérons le réseau représenté schématiquement par la figure 2. Les lignes FFF désignent les feeders, DD les artères de distribution, BBB les branchements ou dérivations. Nous nous proposons de chercher une terre sur ce système sans autre précaution préalable que celle qui consiste à ouvrir en un point quelconque la maille fermée constituée par les distributeurs DD. En pratique, les feeders aboutissent à des boîtes de distribution grâce auxquelles il est facile de séparer un des distributeurs hm, gn du point d'alimentation p, q comme le montre la figure en m, n, p, q.

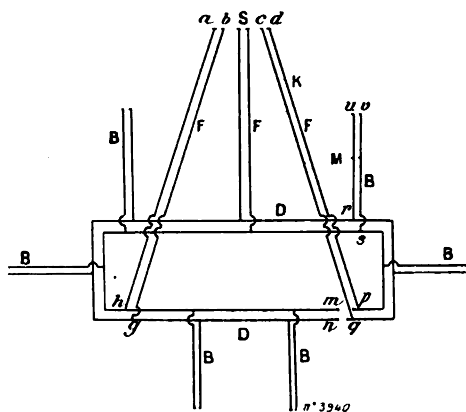


Fig. 2.

La nécessité de cette précaution résulte de ce que la méthode de la boucle, généralisée, suppose qu'on ne peut aller que par un chemin unique d'un point quelconque de la ligne à un autre, sans revenir sur ses pas (fig. 2).

Cela étant, nous supposons d'abord toutes les extrémités des feeders et des branchements isolées entre elles et séparées de leurs points d'attache. On bouclera alors au hasard, les extrémités mn et on fera le montage de la méthode de la boucle en ab, par exemple. S'il existe une terre en un point M, une première mesure donnera des valeurs xy qui détermineront le point g. Le défaut n'est donc certainement pas sur la ligne gn, hm. Il est soit en g, soit sur le distributeur g, r, q ou sur l'un des branchements qui y aboutissent. Nous pouvons alors soit boucler en pq, en séparant m et n; ou bien monter le pont en cd sans rien changer d'autre part. Des deux manières, la mesure donnera le point r, et le défaut se trouve en r ou sur le branchement ru. On bouclera enfin en uv et on trouve le point M défectueux.

Ainsi, à l'aide de trois opérations à la Station, on a pu trouver une terre sur un réseau qui est un des plus compliqués que présente la pratique, sans autre opération sur la canalisation que d'enlever deux barrettes d'une boîte de distribution et de boucler successivement trois paires d'extrémités.

Dans l'article précité nous avons fait ressortir les nombreux services que ces quelques considérations peuvent rendre dans la recherche des terres ou de l'emplacement des courts-circuits sur les canalisations existantes. Bien qu'elles supposent l'arrêt du service sur la ligne soumise aux recherches, elles permettent de circonscrire si rapidement la région qui renferme le défaut, que la plus grande partie de la ligne peut être remise en service aussitôt après la première ou la deuxième mesure.

La principale difficulté que l'on rencontre dans les applications et qui tient au principe même de la méthode de la boucle consiste en ce qu'on a affaire à des conducteurs de forte section surtout dans les distributions à courant continu. Les résistances des jonctions introduisent des erreurs qui peuvent modifier notablement les résultats théoriques exposés ci-dessus.

Ainsi, quand une mesure donnera un point situé à quelques mètres d'un manchon de jonction, il serait téméraire de conclure que le défaut n'est pas au manchon lui-même. Il sera prudent au contraire de faire quelques autres mesures en bouclant des extrémités différentes; et si ces mesures donnent toujours des points voisins du manchon, et surtout si ces points se trouvent sur des demi-lignes différentes aboutissant au point de jonction, il n'y aura pas grand risque à pratiquer une fouille à cet endroit, le défaut s'y trouvera avec une quasi-certitude.

***

Nous n'insisterons pas davantage sur la manière d'appliquer cette méthode de recherche, en laissant à chacun le soin d'en tirer le meilleur parti suivant les circonstances.

Nous nous sommes plutôt attaché à trouver dans ce procédé — au moyen duquel deux opérateurs, l'un à la station, l'autre aux extrémités de la canalisation peuvent en quelque sorte atteindre un point défectueux quelconque de la ligne sans toucher aux points intermédiaires, — une solution générale du problème de la recherche des défauts et du contrôle de l'isolement.

Bien que ce problème n'ait pas reçu jusqu'à présent de solution satisfaisante, il a beaucoup été fait dans cette voie depuis l'établissement des grands réseaux urbains La combinaison des divers procédés de contrôle et de recherche dont disposent aujourd'hui les stations centrales leur permet de parer assez rapidement aux accidents qui se produisent soit sur la canalisation, soit dans les installations.

Aux méthodes de contrôle de l'isolement actuelles, sur le réseau en service, on peut reprocher de ne pas distinguer l'isolement du réseau de celui des installations, d'être d'une sensibilité trop faible et de se trouver en défaut dans certains cas. Quant aux méthodes de recherche des défauts, elles supposent en général l'arrêt du service, en totalité ou en partie, sur la canalisation ; elles exigent beaucoup de temps et un personnel nombreux ; elles nécessitent assez souvent l'ouverture de manchons de jonction et leur réfection, travail assez long et plus ou moins préjudiciable à l'excellence des jonctions.

Le système d'Agthe (1), appliqué au réseau de Berlin a été un grand pas dans la voie où l'on peut souhaiter de voir entrer le problème du contrôle des réseaux électriques. Le principe de la méthode d'Agthe consiste, comme on sait, à munir chaque conducteur d'un fil pilote de polarité contraire à celle du conducteur. La naissance d'une terre dans le câble doit amener un court-circuit entre le fil pilote et le conducteur qu'il accompagne; ce court-circuit amène la fusion de plombs fusibles convenablement disposés et, par l'établissement de certaines communications qui en résultent, des relais et des leviers indicateurs se trouvent mis en activité à la station centrale. L'examen des leviers indicateurs permet de déterminer le feeder ou le tronçon d'artère sur lequel s'est produit la terre.

Il va sans dire que l'emplacement exact du défaut est à rechercher à ce moment sur une région déterminée, il est vrai, mais avec tout l'attirail et tous les ennuis que comporte une telle recherche dans le cas général. Le fait que le défaut existe simultanément sur le conducteur et le fil pilote est d'un grand secours, car la recherche se fera bien plus aisément et avec plus d'exactitude sur le fil pilote. Mais il serait nécessaire, pour que cet avantage fut complet, que les branchements et en général toutes les dérivations jusqu'aux coffrets d'abonnés fussent également munis de fils pilotes.

Enfin, l'efficacité de ce système ne semble pas très absolue ; son auteur admet d'ailleurs parfaitement qu'une terre puisse exister sur le conducteur très longtemps avant d'intéresser le fil pilote. On voit de suite les inconvénients qui peuvent en résulter, si ce fait vient à se présenter sur deux conducteurs de polarités différentes. Il est nécessaire de combiner le système d'Agthe avec la méthode du voltmètre pour ne pas laisser passer inaperçue l'existence des terres qui se produisent parfois très lentement ; et c'est encore là un pis-aller qui est loin de donner toute satisfaction.

Toutes ces considérations nous ont conduit à rechercher un système de contrôle de l'isolement au moyen duquel on puisse suivre de très près la marche de l'isolement de la canalisation, sans gêner en rien le service, sans confondre l'isolement du réseau avec celui des installations, puis à appliquer le procédé général de recherche exposé précédemment quand le contrôle signale une terre.

C'est à dessein qu'en parlant de défauts, nous entendons seulement les terres ; ce sont à peu près les seuls défauts qui soient à craindre dans les canalisations ; et les courts circuits qui se pro-

(1) Pour plus de détails, voir notre ouvrage *Essais et vérifications des canalisations électriques*. Ch. Béranger, éditeur.

duisent entre conducteurs, sont dus presque sans exception, à la naissance préalable d'une terre. Dans les câbles armés surtout, l'isolement entre conducteurs n'est guère susceptible de dérangement que par le fait d'une fissure dans l'enveloppe de plomb par où l'humidité gagne les conducteurs.

Il y a donc un intérêt capital à contrôler, même à prévenir la naissance des terres sur le réseau et à disposer d'un procédé qui permette de déterminer rapidement et exactement l'emplacement du défaut.

La méthode de la boucle généralisée comme il a été dit, est théoriquement très séduisante; elle deviendra très pratique si au lieu de l'appliquer au réseau des conducteurs lui-même, nous pouvions l'appliquer à un réseau parallèle au précédent dans toute sa longueur, sur lequel les défauts se produiraient *en même temps et au même endroit* que sur le réseau des conducteurs. Nous pourrions constituer ce réseau de contrôle au moyen de fils pilotes de faible section, et les mesures y deviendraient d'une grande exactitude; l'influence des jonctionnements pourrait aisément y être rendue négligeable.

Pour plus de clarté, nous appliquerons ces considérations à un réseau d'une distribution à courant continu à deux fils, avec feeders, artères de distribution formant une ou plusieurs mailles fermées sur lesquelles sont pris les branchements. Nous supposerons la canalisation constituée par des câbles armés à conducteurs concentriques, torsadés ou simples.

Ces câbles sont généralement isolés au jute imprégné de matières résineuses, et les conducteurs sont séparés de l'enveloppe de plomb par deux ou plusieurs couches de jute.

Voyons comment on pourra constituer en fabrication ce que nous appelerons *le réseau de contrôle*.

Entre les dernière et avant-dernière couches extérieures de jute, nous enroulons en hélices parallèles deux fils nus de cuivre, de bronze ou d'un alliage quelconque, de quelques dixièmes de millimètres de diamètre (fig. 3).

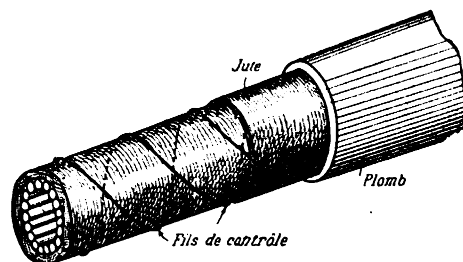


Fig. 3.

Cette opération se fera en même temps que le câblage et la mise sous jute sur la machine à câbler.

La main d'œuvre est donc insignifiante; l'enroulement des fils présentant un pas d'hélice différent de celui des brins de jute, les fils pilotes ainsi obtenus ne risquent pas de s'enfoncer dans l'une ou l'autre couche de jute; l'isolement de ces fils entre eux et par rapport au plomb et aux conducteurs sera très élevé vu leur faible section.

Tous les câbles d'un réseau étant munis de ce système de 2 fils pilotes, il faudra les relier entre eux, à la pose du réseau, par une épissure soudée. Dans les manchons de jonction, il y aura lieu de disposer les fils pilotes tout autour des pièces et des parties dénudées du câble de façon que si l'humidité pénètre dans le manchon, elle rencontre forcément les fils pilotes avant d'atteindre les conducteurs ou les pinces de jonction. On prendra cette même précaution dans les boîtes de distribution, en ayant soin de présenter les fils pilotes ou leurs prolongements sur tous les chemins que l'humidité pourrait parcourir pour atteindre les conducteurs et les croisillons.

Enfin, on aura soin de relier entre eux les fils de contrôle dans les points d'alimentation, de jonction, ou de dérivation, exactement comme les conducteurs, de sorte que le réseau des fils pilotes présentera exactement les mêmes dispositions que le réseau des conducteurs jusqu'aux coffrets d'abonnés.

Dans ces derniers, les deux fils pilotes seront soigneusement isolés par un capotage démontable.

A la station, les fils pilotes arrivent dans le voisinage du tableau de distribution à un groupe d'appareils que nous décrirons plus loin.

Avec le réseau de contrôle ainsi constitué, nous obtenons donc un système sur lequel les terres se produiront en même temps, et plutôt avant, que sur le système des conducteurs; de plus les défauts se produisent sur le réseau de contrôle au même endroit que sur le conducteur.

Or, en temps normal, le réseau de contrôle est complètement isolé du réseau des conducteurs ; les observations et les recherches qu'on peut y faire ne seront nullement gênées par le maintien en service de la canalisation.

Le contrôle de l'isolement du réseau par rapport à la terre devient d'une facilité remarquable ; en effet, le réseau des fils pilotes se trouvant constamment entre le réseau des conducteurs et la terre, si le premier est bien isolé le second l'est *a fortiori*, et il suffit de contrôler à chaque instant l'isolement du réseau des fils pilotes pour être fixé sur l'état de la canalisation.

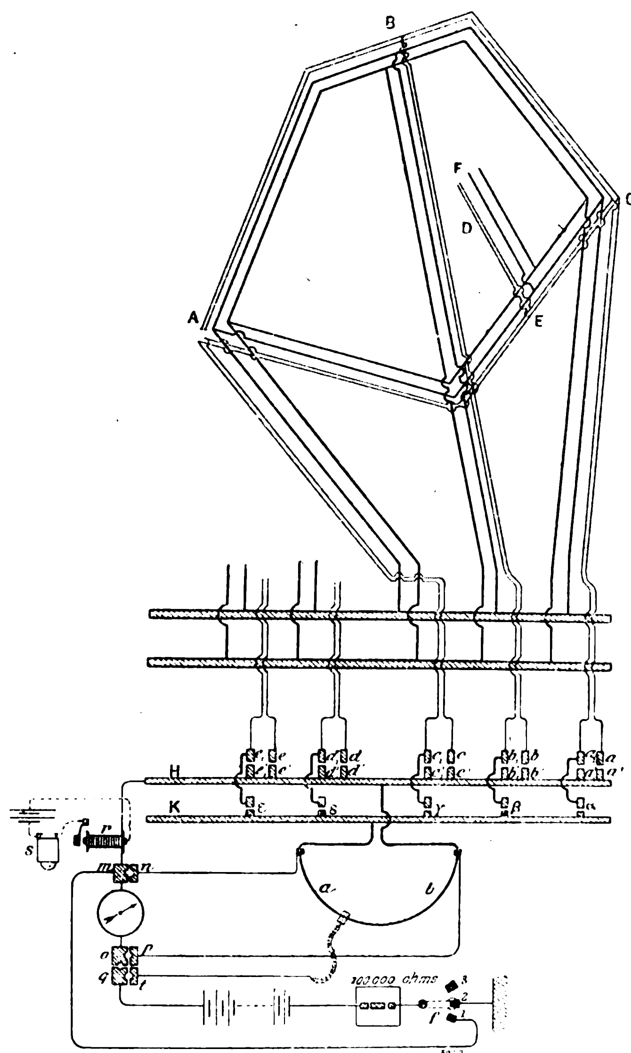


Fig. 1.

Quand une terre se produit, par exemple, à la suite d'une fissure dans l'enveloppe de plomb, l'humidité pénétrera dans le câble, et il y a bien peu de chances qu'elle ne rencontre pas un fil pilote avant d'atteindre le conducteur. Il n'est pas admissible, en tous cas, étant donnée la porosité du jute, que cette terre puisse exister sur le conducteur sans se déclarer aussitôt sur l'un des fils pilotes. Cela étant on opérera pour rechercher le défaut avec le procédé indiqué au début de cet article, mais la recherche se fera sur le réseau de contrôle comme s'il existait seul. Le contact possible du fil avec le conducteur à l'endroit du défaut ne peut en rien gêner cette recherche, même si la canalisation est en service ; les forces électromotrices qui s'y produiraient étant dans le circuit de la pile avec le montage du pont de Wheatstone indiqué plus haut, n'interviennent pas dans le résultat de la mesure.

Nous allons examiner comment le service de contrôle peut être organisé très simplement à la station centrale en prenant pour exemple une distribution à courants continus avec feeders et réseaux. Rappelons d'abord que chaque câble étant muni de son fil de contrôle spécial en hélice et les jonctions se trouvant effectuées sur les fils de contrôle comme sur les câbles entre eux, le réseau des fils de contrôle doit présenter la même disposition que les conducteurs de la distribution, avec cette restriction cependant, que le réseau dit de contrôle ne devra pas offrir de maille fermée.

La réalisation de cette condition ne souffrira pas de difficulté, il suffira de ne pas faire la jonction des fils de contrôle dans un manchon ou une boîte de distribution de la maille et de laisser les extrémités des fils libres et soigneusement isolées. Le point où la maille du réseau de contrôle est restée ouverte sera noté sur le plan de la canalisation.

Rappelons encore qu'il ne s'agit ici que de contrôler l'isolement de l'ensemble des conducteurs par rapport à la terre, que si, par conséquent, un défaut se produit, nous supposerons pour l'instant que c'est une perte à la terre, et enfin que ce contrôle ne s'étend qu'à la canalisation

Dans la figure 4 ci-desssus, on a représenté le schéma d'un réseau de distribution. Les conducteurs sont représentés en traits forts et les deux fils de contrôle spéciaux en traits plus fins. On n'a figuré qu'une seule maille du réseau avec les feeders qui l'alimentent. Quelques autres feeders avec leurs fils de contrôle sont simplement amorcés. Les fils pilotes aboutissent chacun à un plot qui peut être mis en communication avec deux autres au moyen de fiches. Les plots a, b, c... peuvent être reliés à a', b', c'..., et les plots a_1, b_1, c_1... à a'_1, b'_1, c'_1 ou bien à α, β, γ...

D'autre part les plots a', b', c'..., a'_1, b'_1, c'_1 sont fixés sur la barre H, et les plots α, β, γ... sur la barre K.

Voyons comment s'effectue le contrôle de l'isolement. D'après ce qui précède, il s'agit ici de vérifier soit à un moment donné, soit d'une façon continue, l'isolement du réseau des fils pilotes par rapport à la terre, si cet isolement est satisfaisant, celui des conducteurs par rapport au sol l'est *a fortiori*. En temps normal les plots a, a_1, b, b_1, c, c_1... seront réunis par des fiches respectivement aux plots $a'a'_1$, $b'b'_1$, $c'c'_1$.

La barre H est réunie en série avec un système ordinaire d'appareils de mesure d'isolement, par la méthode de la déviation à savoir : un galvanomètre et son shunt et une pile de 100 à 200 volts. On a figuré également en série un relais r de haute résistance, un étalon de résistance de 100000 ohms, un commutateur f.

La constante de l'appareil se prendra en réunissant o, q et en mettant la manette du commutateur f sur le plot 1. Cette constante se déterminera de temps en temps ; mais pour un contrôle continu on mettra f sur le plot 2. La déviation du galvanomètre correspond dans ce cas aux pertes à la terre de tous les conducteurs réunis à la barre H, c'est-à-dire du réseau de contrôle tout entier Par conséquent, si le galvanomètre est muni d'un miroir et accompagné d'un système à réflexion l'observation du spot renseignera constamment sur la marche de l'isolement sans qu'on n'ait rien à toucher aux appareils. Remarquons que la résistance de 100 000 ohms pourra rester en circuit et préserver ainsi les appareils et les fils contre un courant dangereux au moment où il se produirait une terre. Dans ce cas, le relais r fermerait le circuit de la sonnerie s, ce qui avertirait qu'une terre est à rechercher sur le réseau.

Cela étant, voyons comment s'effectuera cette recherche. On reconnaîtra d'abord le quartier qui renferme le défaut, dans le cas où les feeders alimenteraient des régions non reliées entre elles ; il suffira de retirer successivement les fiches qui relient aa, bb, cc... à la barre H et d'observer la sonnerie et le galvanomètre. Supposons que la terre s'est déclarée sur la région qui est figurée complètement ci-dessus. On retire alors les 6 fiches correspondantes et on peut remettre les autres pour ne pas interrompre le contrôle sur les autres régions. Si l'on dispose d'un autre galvanomètre qui puisse servir d'appareil de zéro dans une mesure au pont de Wheatstone, on branchera ce pont sur une des paires d'extrémités aa_1, bb_1, cc_1.

Nous supposons que la terre n'existe que sur un des fils de contrôle, ce qui sera le cas général, attendu que le défaut se présentant habituellement à la suite d'une fissure dans le plomb ou dans un manchon, l'humidité met un temps plus ou moins long, quelquefois plusieurs mois, à gagner les fils pilotes ; le contrôle se faisant instantanément, il y a peu de chances pour que le défaut existe à la fois sur les deux fils. Nous examinerons néanmoins ce cas plus loin, en nous en tenant pour l'instant à l'hypothèse précédente.

Cela étant, on envoie un aide boucler les deux fils de contrôle de préférence au point A où l'on a laissé ouverte la maille. Cet aide pourra emporter un téléphone ou une sonnerie, qui permettront à la station de lui transmettre quelques indications très simples, en branchant un autre téléphone ou une sonnerie en l'une des extrémités aa_1, bb_1 cc_1. Après chaque mesure, on indiquera à l'aide à quel point il doit aller boucler, après avoir isolé les fils pilotes à l'endroit qu'il quitte. Pour plus de clarté, prenons un exemple et supposons que le défaut à rechercher se trouve en un point D sur le branchement EF, le seul représenté sur la figure 4, le pont étant monté en aa_1. L'aide ayant bouclé en A, la mesure donnera le point C. Le défaut n'est donc point dans la région ABC ; il ne peut être qu'en C ou sur l'autre dérivation qui part de ce point, et qui aboutit en cc_1 à la station en suivant le chemin C, E, A, cc_1. On avertira l'aide de séparer les extrémités en A et

d'attendre. On bouclera cc_1 à la station, et on trouvera le point E pour la deuxième mesure. On remettra le téléphone en aa_1 et on attendra que l'aide auquel on aura fixé une attente de durée déterminée remette le sien en A. On l'enverra boucler aux extrémités du branchement ou de la dérivation EF, et une dernière mesure donnera le défaut en D. On pourra aussitôt avertir l'aide de faire pratiquer une fouille à telle distance de l'extrémité de la dérivation. Rien n'empêchera de faire alors une mesure plus précise en restreignant le plus possible la longueur de la boucle et en établissant le pont aux extrémités des fils pilotes CEF dans la boîte de distribution C. Toutes ces opérations se feront sans intéresser en quoi que ce soit le service de la distribution. Il se peut même, suivant la nature du défaut, qu'un ouvrier habile puisse le réparer sans même supprimer le courant sur EDF.

Dans la figure 4, on a indiqué le montage que l'on peut employer si l'on ne dispose que d'un seul galvanomètre. Pour le contrôle en temps normal, il n'y a rien à changer à ce qui précède. Mais quand un défaut sera constaté, on séparera de la barre H tous les plots aa_1 bb_1, etc., sauf ceux auxquels on veut brancher le pont de Wheatstone. On reliera, par exemple, a à H et a_1 à K par α. On réunit m à n, o à p et q à t, f à la terre dans la position 3. Les barres H et K sont reliées à un fil d'équilibre calibré sur lequel on prendra le rapport des bras du pont ; mais on pourra également employer une boîte de résistances reliée aux barres H et K par de forts conducteurs.

En ce qui concerne l'exactitude de la mesure, il n'est pas téméraire de compter sur une erreur de 0,1 p. 100 dans une mesure au pont de Wheatstone ; ce qui, pour le développement de 3 ou 4 km que présentera au maximum la boucle choisie convenablement, n'entraînerait qu'une incertitude de 3 ou 4 m sur l'emplacement du défaut. Si le plan du réseau est relevé très soigneusement, et si la mesure donne des points distants de quelques mètres seulement d'un manchon, il ne faudrait pas hésiter à prendre le manchon lui-même, comme résultat de la mesure, quitte à vérifier cette hypothèse par d'autres mesures, par le choix d'une autre boucle, etc.

Pour ce qui est des erreurs que pourraient introduire les différences de température entre les divers points du réseau, nous ferons d'abord remarquer que les fils de contrôle se trouvent très près de l'enveloppe de plomb et qu'ils ont par suite une température très voisine de celle du sol. Il y aurait du reste à cet inconvénient un remède radical, qui serait de constituer les hélices des fils pilotes en métal à faible coefficient de variation de résistance avec la température. On serait donc amené à recourir à des fils présentant plus de résistance à la traction et plus de résistance électrique que le cuivre ; et cette dernière résistance est encore augmentée du fait qu'on pourrait employer des fils plus fins qu'avec le cuivre. De là, un double avantage : la résistance des fils de la boucle serait très notable, ce qui conduirait à une très grande exactitude dans les mesures finales et rendrait l'influence des contacts négligeable ; ensuite l'isolement du réseau de contrôle ne serait qu'augmentée par la faible section de ses fils.

Pour revenir aux hypothèses faites sur la nature du défaut, rappelons que nous n'avons à nous préoccuper ici que de l'état dans lequel un défaut met le réseau de contrôle. Les considérations précédentes s'appliqueront, quelle que soit la nature de l'accident, terre ou court-circuit, sur la distribution, pourvu que les fils de contrôle ne soient pas rompus et que l'un d'eux seulement soit mis à la terre. Mais même, si les fils de contrôle sont à la terre tous deux, on pourra encore constituer dans bien des cas des boucles analogues à celles qu'on établit dans la méthode de Frœlich avec un seul fil pilote ; mais ceci suppose qu'il y ait au moins deux feeders par maille indépendante. La mesure ne peut alors donner, comme dans la méthode de Frœlich, que le point de départ de la dérivation défectueuse si le défaut n'est ni sur les feeders, ni sur les artères de distribution.

Nous ne saurions trop insister ici sur la possibilité d'éviter presque tous les courts-circuits au moyen d'un contrôle aussi instantané et aussi sûr que l'est celui que nous venons d'exposer.

Il est excessivement rare qu'un court-circuit ait une cause instantanée dans un réseau à câbles armés, à basse tension, quand l'essai à la pose a été fait consciencieusement. Cet essai a indiqué un isolement minimum déterminé qui ne peut se modifier sensiblement que par l'intervention d'une cause extérieure. Si le court-circuit est produit par une action mécanique sur le câble, cela

suppose que le câble est à découvert, et alors l'accident est assez visible pour ne donner lieu à aucune recherche, ou tout au moins, cette action mécanique ne se produit pas sans laisser de traces apparentes. Mais, en général, le court-circuit est amené par une infiltration d'humidité qui finit dans les câbles, les boîtes ou les manchons, par atteindre les deux conducteurs. Or le contrôle, tel que nous l'établissons, prévient instantanément de l'introduction de l'humidité dans le câble, même avant qu'elle ne puisse atteindre l'un quelconque des conducteurs, étant donné sa propagation plus ou moins lente. A fortiori, aura-t-on le loisir de remédier à la naissance d'une terre avant qu'elle ne puisse exister sur les deux conducteurs et amener un court-circuit. Pour ce qui est de la naissance d'une terre simultanément en deux points différents du réseau, on ne saurait en admettre la possibilité quand on dispose d'un contrôle de tout instant ; d'autant plus qu'il serait nécessaire, pour trouver en défaut la méthode de recherche, que les résistances des deux terres soient à peu près du même ordre de grandeur.

Admettons néanmoins que les deux fils pilotes se trouvent mis à la terre au même point, et supposons qu'il y ait au moins deux feeders par maille indépendante. S'il n'y avait qu'un feeder, il pourrait être avantageux de placer à côté du feeder un petit câble séparé à deux conducteurs de même section que les fils pilotes et que l'on relierait aux deux extrémités du réseau de contrôle où la maille sera laissée ouverte. Ce réseau de contrôle présentera alors une disposition, comme celle que nous représentons (fig. 5). Supposons qu'un double défaut existe en D sur les fils de contrôle. L'un de ces fils a sera mis en série à la station avec un fil calibré r et avec une pile dont l'autre pôle est à la terre. Entre les deux points MN on branche un galvanomètre très résistant ou muni d'une forte résistance en série. Un commutateur permettra de brancher également ce galvanomètre entre le point M et l'extrémité a_1 de l'autre fil pilote. La source de courant devra être une batterie d'accumulateurs de tension assez élevée pour faire supporter au fil pilote le courant maximum et en même temps d'une capacité assez forte pour que le courant reste bien constant. Ce courant, on le voit, passe du fil pilote à la terre, à travers le défaut ; grâce à la tension assez élevée de la batterie, et en attendant quelques minutes, on arrivera à un régime permanent. On manœuvrera alors le commutateur de la position 1-2 à la position 1-3, en relevant les déviations du galvanomètre muni d'un shunt s'il y a lieu. Le circuit du galvanomètre étant très résistant, ce dernier sert de voltmètre, et l'on constitue ainsi une méthode dite de chute de tension. Si r est la résistance du fil calibré entre les points M et N, si $\frac{\alpha}{\beta}$ est le rapport des déviations du galvanomètre, x une certaine résistance sur le fil de contrôle a, on a $x = r \cdot \frac{\alpha}{\beta}$.

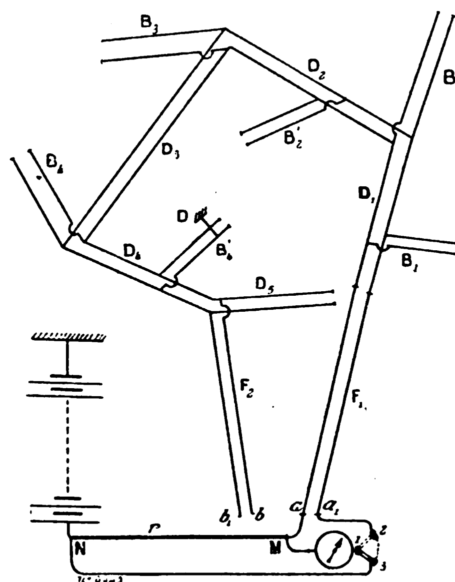


Fig. 5.

x est la résistance qui, traversée par le courant qui passe aussi dans r, donne lieu à une chute de tension qui est avec celle obtenue sur r dans le rapport de α à β. Il s'agit donc de voir entre quels points, dans la position 1-2 le galvanomètre indique la chute de tension. D'après la figure c'est évidemment entre les points a et D sur le fil pilote, et x n'est autre que la résistance qui sépare A et D. Ceci suppose que le circuit (a_1 — fil pilote — défaut) a une résistance faible vis-à-vis de celle du galvanomètre. Or, pour que les deux fils se trouvent mis à la terre en D, il faut évidemment que le défaut soit sérieux et sa résistance entre les deux fils ne pourra être bien élevée. De plus, si les fils sont en métaux très résistants, il sera évidemment préférable de remplacer le fil calibré par une résistance étalonnée comparable à celle des fils pilotes de façon à obtenir des déviations du même ordre pour α et β. On serait ainsi conduit à l'emploi de tensions

assez élevées. Les fils pilotes pourront avoir une résistance de 150 ohms, par exemple, sur une longueur de 3 ou 4 km, et supporter 1/2 ampère ; la chute de tension pour r et les fils sera de 150 volts environ ; en tenant compte de la résistance du défaut et de la batterie, on pourra employer une batterie de 200 volts. Les tensions aux bornes du galvanomètre seront de l'ordre de 75 volts dans les deux mesures, et l'on voit qu'en mettant 100 000 ou 200 000 ohms en série, avec l'appareil, il sera encore nécessaire de le shunter, si l'on emploie un Thomson ou un Despretz-d'Arsonval sensible, pour avoir des déviations acceptables. Ceci donne une idée de la sensibilité et de l'exactitude de cette méthode.

Il reste à interpréter la résistance x obtenue par la mesure. Elle donne tous les points qui sont à une distance l_x du point a en suivant le fil pilote. Pour obtenir ces points on a une fois pour toutes dressé des schémas côtés du réseau de contrôle, chaque schéma correspondant à un point de départ différent, aa_1 bb_1, etc., les côtes de toutes les distances étant portées normalement à partir d'une droite origine. Sur le schéma correspondant à aa_1, on tracera une droite parallèle à l'origine et à une distance l_x ; cette droite coupe divers tronçons du réseau et le défaut se trouve parmi les points de rencontre (fig. 6).

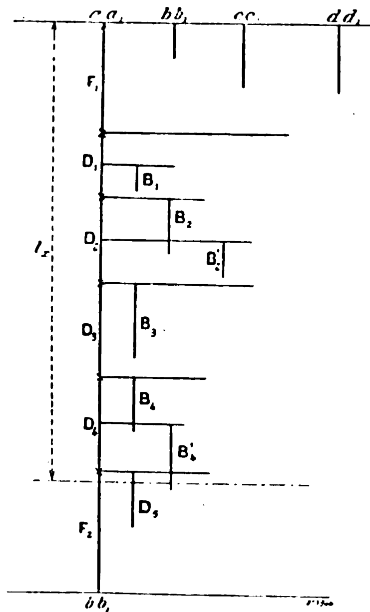


Fig. 6.

Mais si l'on recommence une nouvelle mesure, en bb_1, dans le cas où ce second point de départ existe comme nous le supposons, et qu'on trace une nouvelle ligne à une distance l'_x sur le schéma correspondant au point de départ bb_1, cette ligne coupera encore un nombre limité de tronçons du réseau. Comme elle ne peut les couper qu'en un point, si parmi les tronçons du nouveau schéma, il ne s'en trouve qu'un seul qui figure dans le premier schéma, le défaut est évidemment sur ce tronçon et le point trouvé devra, comme vérification, être le même dans les deux opérations. S'il y a au contraire, plusieurs tronçons communs parmi ceux qui coupent les lignes l_x, l'_x, il y aura lieu de repérer sur chaque tronçon les points exacts donnés par les deux opérations et quand sur un tronçon, les deux points coïncident, ils détermineront le défaut. Il ne serait pas exact de dire que cette circonstance n'est possible que pour un seul tronçon, car il est évident qu'il peut y avoir plusieurs points dont les distances à a et à b sur les fils pilotes soient les mêmes. Il suffit de considérer par exemple, deux dérivations issues d'un même point d'un distributeur, tous les points équidistants du point commun pourraient évidemment donner lieu à l'incertitude que nous signalons. Mais cette incertitude est facile à dissiper, puisque l'on connaît maintenant le nombre excessivement réduit de tronçons sur lesquels le défaut peut exister, soit qu'on effectue une opération nouvelle avec un troisième point de départ, pris à la station ou ailleurs, soit qu'on recoure à différents autres moyens dont on peut disposer pour arriver plus rapidement à déterminer l'emplacement du défaut.

Nous n'avons insisté aussi longuement sur ces dernières considérations que pour montrer tout le parti qu'on peut tirer de l'existence sur le câble des deux fils pilotes en hélice, que nous préconisons, bien qu'il puisse se présenter des cas où le réseau de contrôle ne se prêterait pas à une application aussi générale de la méthode de recherche que nous l'avons admis au début de cet article.

Dans cet ordre d'idées, nous citerons les feeders d'un tramway qui suivent la voie et qui sont exposés à l'électrolyse comme on sait. Quand un accident survient, on est obligé de recourir aux sectionnements, attendu que la plupart des méthodes de recherches deviennent impraticables sur un conducteur dont la section peut être de 200 à 400 mm² et dont on ne dispose que d'une seule extrémité. Si ce câble est muni de nos deux fils pilotes, qu'ils soient mis à la terre tous deux ou non, l'une des méthodes que nous avons exposées donnera immédiatement le défaut, sans qu'on ait même à arrêter le service, s'il n'y a pas de court-circuit.

Cet avantage nous semble encore plus précieux pour les lignes à haute tension, dont nous n'avons pas parlé jusqu'ici. Pour ces distributions, le contrôle de l'isolement tel que nous l'avons indiqué ne pourrait évidemment pas être établi sans grandes précautions. Nous pensons néanmoins que, étant donné la simplicité que présentent généralement les lignes de départ de l'usine qui se réduisent souvent à une seule dans le cas des transports d'énergie à grande distance, étant donné encore que la manipulation des appareils de contrôle se réduit au déplacement de quelques fiches dont on peut même se dispenser, si l'appareil est mis en fonction avant la mise entrain de la station et qu'on peut en tous cas, munir de manches isolants aussi longs qu'on voudra, en protégeant les appareils, par des plombs fusibles, des interrupteurs automatiques, des appareils de sûreté Cardew ou autres, contre un contact accidentel entre un fil pilote et le conducteur à haute tension, pour toutes ces raisons, il nous semble très possible d'étudier un ensemble d'appareils approprié à chaque cas et qui rende le contrôle de l'isolement exempt de tout danger. Il en pourrait être de même de la recherche des défauts; cependant, la préoccupation de l'arrêt du service en vue d'une recherche de défaut est ici moins imposée par cette recherche même que par d'autres nécessités inhérentes au mode de distribution. Sur les lignes à haute tension, en effet, sauf pour les conducteurs concentriques dont l'emploi se restreint d'ailleurs de plus en plus, la production d'une terre entraîne de tels désordres qu'elle est toujours accompagnée d'un court-circuit [1]. Tandis que pour les lignes à basse tension, on évite les courts-circuits en remédiant de suite à la propagation des pertes à la terre, cette précaution n'aurait aucune valeur préventive pour les hautes tensions. Aussi, si une telle distribution était munie de nos fils de contrôle spéciaux et qu'une terre y fût signalée, il y aurait urgence à arrêter le service avant que le court-circuit que sa naissance sur un conducteur entraînerait ne se produise.

Et cet arrêt du service ne peut être considéré comme une sujétion imposée par une méthode de recherche des défauts, puisqu'il deviendrait quand même nécessaire quand le court-circuit éclaterait, avec en plus le risque d'endommager le matériel.

Dans les distributions à haute tension, les choses doivent donc être envisagées de la façon suivante :

Le réseau de contrôle sert au contrôle de l'isolement, comme il a été dit pour les basses tensions, mais avec quelques précautions spéciales; pour ce qui est de la recherche des terres, les fils de contrôle spéciaux sont plus que jamais indiqués puisque la recherche se fera pendant un arrêt du service, et que leur présence rendra cette recherche singulièrement rapide et économique.

Il nous semble donc désirable à tous égards, que l'adjonction de ces fils de contrôle spéciaux se généralise pour les câbles armés d'autant plus qu'ils augmentent d'une façon insignifiante le prix du câble, puisqu'il n'est pas nécessaire d'en modifier le diamètre et que l'isolement des conducteurs par rapport à la terre n'en est pas diminué.

Pour les hautes tensions, il peut y avoir lieu de garantir les fils de contrôle contre une décharge entre les conducteurs et la terre que leur interposition pourrait favoriser; ce résultat s'obtiendra aisément en enroulant les fils spéciaux sur la protection isolante des conducteurs par l'intermédiaire d'un ruban d'une substance résistant bien aux décharges de tension (comme la toile imprégnée d'huile de lin cuite).

Que si cette création d'un réseau de contrôle aussi simple entraîne quelques menus frais de fabrication, de pose et d'entretien, il faut bien reconnaître que les économies qu'elle permettra de réaliser à d'autres égards en prévenant presque tous les accidents qui peuvent prendre naissance sur un réseau, et en simplifiant la recherche, méritent d'être prises en sérieuse considération.

P. Charpentier.

---

[1] Il serait absurde de prétendre qu'en principe une terre ne peut exister sur un conducteur sans donner lieu à un court-circuit, comme sur une ligne aérienne, par exemple. Mais dans les câbles armés, la décharge entre un conducteur et la terre endommage si gravement l'isolant que le court-circuit est inévitable ; il semble pourtant que ce fait ne se produit que pour un débit minimum de la ligne.

****

THÉORIE GRAPHIQUE

DE LA

RÉGULATION DES CONVERTISSEURS ROTATIFS[1]

Introduction. — On a beaucoup écrit et publié depuis deux ou trois ans sur les convertisseurs destinés à transformer les courants alternatifs polyphasés en courants continus ou inversement [2].

Mais on n'a pas donné de procédé purement graphique, et cependant complet, de traiter la question si complexe, et en même temps si attrayante, de la régulation du voltage de ces convertisseurs. Le but de cette note est de combler cette lacune et de rattacher en même temps la solution de ce problème des convertisseurs à celle que j'ai précédemment donnée du problème des moteurs synchrones [3] et à ma *Théorie des deux réactions d'induit* dans les alternateurs.

Grâce à celle-ci, en effet, le convertisseur rotatif peut être traité comme un simple cas particulier des moteurs synchrones, *le moteur synchrone à réaction transversale nulle*, et les graphiques établis pour ces moteurs s'appliquent par la simple suppression du vecteur de réaction transverse [4].

On voit ainsi que cette théorie n'a rien d'artificiel, comme on pourrait le croire, et qu'elle présente au contraire une généralité et une homogénéité utiles en électrotechnique.

Notations. — Les notations seront sensiblement les mêmes que pour les moteurs synchrones ; mais nous devons modifier un peu la signification des indices pour tenir compte de ce que l'induit du convertisseur reçoit des courants de deux espèces, primaires et secondaires. (Les enroulements primaire et secondaire peuvent être différents). Nous conserverons des notations correspondantes à celles de la théorie des moteurs synchrones ; nous appellerons donc

T, la période, $\omega = \frac{2\pi}{T}$, la vitesse de pulsation ;

R, la résistance totale du circuit (génératrice, ligne [5] et bobinage primaire du convertisseur) ;

l, la self-inductance cumulée de la génératrice et de la ligne ;

s, la self-inductance du convertisseur due aux fuites magnétiques de l'induit ;

L, la self-inductance ajoutée sous forme de bobines de réactance ;

$X = \omega (L + l + s)$, la réactance totale du circuit alternatif ;

$Z = \sqrt{R^2 + X^2}$, l'impédance totale correspondante ;

E, la force électromotrice efficace agissante, c'est-à-dire débitée par le réseau, ou induite dans la génératrice s'il s'agit d'un simple transport. Elle est supposée invariable, sauf avis contraire ;

q, le nombre de phases des courants primaires ;

$\mathcal{E}$ la force électromotrice efficace primaire (alternative) du convertisseur ;

$\frac{\mathcal{E}}{\xi}$ ou E_2, la force électromotrice induite secondaire (continue) ;

---

(1) Mémoire présenté au dernier Congrès international des Electriciens.

(2) Il suffit de rappeler les mémoires de MM. S.-P. Thompson, Steinmetz, Kapp, Woodbridge et Child, de Marchéna (particulièrement intéressant), Scott, etc., et les intéressantes publications de MM. Guilbert, Ritter, Janet etc. sur divers points de la construction ou de la théorie de ces machines.

(3) L'*Éclairage Électrique*, t. XXVII, p. 429, 22 juin 1901.

(4) Désigné par A_2B sur nos précédentes figures de *L'Éclairage Électrique*, t. XXVII, p. 431.

(5) La résistance de la génératrice et de la ligne sont négligeables si le convertisseur est branché sur un grand réseau de distribution.

Même remarque pour la réactance.

ζ, le rapport de transformation du convertisseur ;
I, l'intensité efficace d'un des courants alternatifs primaires ;
I_w ou J, sa composante wattée ; I_d sa composante déwattée ;
φ, le décalage $\left(\operatorname{tg} \varphi = \frac{I_d}{I_w}\right)$;
θ, l'angle de phase entre les forces électromotrices $\mathcal{E}$ et E ;
I_2, le courant continu secondaire, proportionnel à J diminué des pertes ;
N, le nombre des fils périphériques primaires par champ ;
K, un coefficient de réduction de cet enroulement ;
N_2, le nombre des fils périphériques secondaires par champ ;
A, le nombre d'ampères-tours des inducteurs ;
n, le nombre de spires excitatrices de l'enroulement série ;
r, la résistance d'une spire de l'enroulement shunt ;
j_0, le courant watté à vide, et i_0, le courant déwatté à vide.

Généralités. — *Réduction des réactions d'induit à la réaction directe seule.* — Le champ inducteur est la résultante de trois forces magnéto-motrices (fig. 1).

1° Les ampères-tours inducteurs du courant excitateur ;

2° Les ampères-tours déwattés par rapport à la force électromotrice, qui agissent de même que les précédents ;

3° La différence entre les ampères-tours wattés et les ampères-tours secondaires produits par le courant continu. Tous deux tendent en effet à produire des champs directement opposés entre eux et décalés de $\frac{\pi}{2}$ par rapport au champ excitateur.

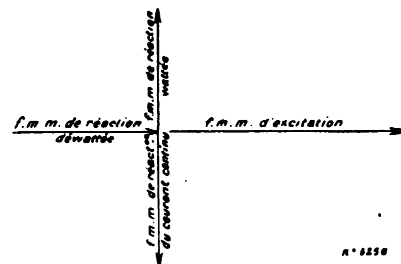


Fig. 1.

Une très grande simplification résulte en pratique du fait que les ampères-tours wattés et les ampères-tours continus sont sensiblement égaux à toute charge.

En effet, l'enroulement étant un bobinage continu, le nombre d'ampères-tours wattés moyen est donné par la formule

$$K \frac{N}{2} I_w \sqrt{2},$$

N étant le nombre de *fils* et K le coefficient de réduction dû au chevauchement des enroulements pour un nombre d'encoches pratiquement infini. J'ai donné ailleurs des valeurs moyennes de ce coefficient, qu'il vaut mieux du reste déterminer empiriquement sur des machines existantes.

Le nombre d'ampères-tours moyen du courant continu débité I_2 est d'autre part la moyenne pour un champ

$$\frac{1}{2} \frac{N}{2} \left(\frac{I_2}{2}\right).$$

D'où le rapport du nombre d'ampères-tours secondaire et primaire

$$\zeta = \frac{1}{4K\sqrt{2}} \frac{I_2}{I_w}.$$

Quel que soit le nombre de phases q, si le rendement est supposé égal à l'unité, l'égalité des puissances primaire et secondaire donne, en se rappelant l'expression de la force électromotrice induite, en fonction du coefficient de réduction k dû au chevauchement,

$$I_w \times \frac{2\pi k}{2\sqrt{2}} \frac{N\Phi}{T} = I_2 \frac{N\Phi}{T}.$$

D'où

$$\frac{I_2}{I_w} = \frac{\pi k}{\sqrt{2}} \qquad \text{et} \qquad \zeta = \frac{\pi}{8}\frac{k}{K}.$$

Or, comme je l'ai également montré ailleurs [1], le rapport $\frac{k}{K}$ est égal sensiblement à $\left(\frac{\pi}{2}\right)^2$. On a donc :

$$\zeta = \frac{\pi}{8} \times \left(\frac{\pi}{2}\right)^2 = \frac{\pi^3}{32} = \frac{30,95}{32}$$

chiffre qui est sensiblement égal à l'unité. La réaction transversale est donc absolument négligeable en présence de la réaction directe et l'on est en droit de traiter les convertisseurs comme des appareils n'ayant que de la réaction directe.

Si l'on tient compte des pertes de rendement, soit 10 à 15 p. 100 de la pleine charge, cette égalité n'est plus aussi rigoureuse, mais :

1° La force électromotrice du courant continu ne subit aucune modification du fait de la réaction transverse, car les balais restent toujours rigoureusement à la ligne neutre et par suite le flux direct est seul coupé ;

2° La force électromotrice du courant alternatif n'est modifiée que d'une façon insignifiante, car le champ résultant du courant watté I_w et d'un courant continu I_2 plus faible de 15 p. 100 ne constitue que 15 p. 100 du champ transverse de réaction de l'induit en courant continu, champ qui, en général, ne dépasserait pas la moitié du champ direct. Mais en admettant même que ce champ transversal résultant atteigne 20 p. 100 du champ direct, la force électromotrice alternative ne se trouverait renforcée que dans le rapport $\frac{\sqrt{1 + (0,20)^2}}{1} = 1,02$, soit de 2 p. 100, ce qui est négligeable.

On est donc bien en droit de traiter, avec les précédents auteurs, le convertisseur comme un moteur synchrone à réaction transversale nulle. Il ne pourrait y avoir d'exception que pour les convertisseurs sans excitation. Mais ceux-ci ne sont presque pas employés et leur théorie peut se faire, du reste, beaucoup mieux en les traitant comme des transformateurs.

Comme dans tout alternateur, l'induit donne lieu, en outre, au phénomène des fuites magnétiques, c'est-à-dire qu'une partie du flux produit par les courants alternatifs de l'induit se ferme sur lui-même par l'air ou les encoches. Cette fuite est en partie annulée par les fuites que le courant secondaire tend à produire en sens inverse (et qui annulent surtout l'effet du courant watté), de sorte qu'elle est bien plus faible que dans un moteur synchrone. Nous supposerons néanmoins pour la théorie générale qu'elle existe et nous la représenterons comme d'habitude par une inductance s, donnant lieu à une réactance ωs.

Éléments qui déterminent les conditions pratiques de fonctionnement — Cela posé, ce dont il importe de se bien pénétrer, c'est que le fonctionnement des convertisseurs dépend non seulement des propriétés de la machine, mais aussi des constantes du réseau d'alimentation ; c'est en effet la self-induction de celui-ci et la différence entre sa force électromotrice et la force électromotrice induite du convertisseur qui règlent le rapport du courant déwatté au courant watté.

Tout courant déwatté en arrière de la force électromotrice produit un effet démagnétisant, tandis qu'un courant déwatté en avant produit un courant magnétisant. La variation des conditions du circuit extérieur constitue donc un procédé indirect pour faire varier l'excitation, mais souvent en sens contraire de ce qu'on voudrait.

§ 1er. Choix des conditions d'alimentation de la machine.

Il importe d'après ce qui précède de connaître très exactement et quantitativement la façon

[1] Propriétés des champs magnétiques tournants. *Éclairage Électrique*, 1895.

dont varie le courant déwatté d'après les conditions d'alimentation, c'est-à-dire d'après les constantes du circuit et la force électromotrice appliquée. Cette étude fera l'objet d'un premier paragraphe.

Epure fondamentale. — Nous partirons tout simplement de notre vieille épure des alternateurs, à deux échelles, l'une pour les courants, l'autre pour les forces électromotrices.

Soit E_2 la tension secondaire aux bornes, $\mathcal{E} = OB$ (fig. 2) la tension primaire qui lui est *sensiblement* proportionnelle par suite de la faible résistance interne de l'armature ;

Soit $E = OC$ la force électromotrice de l'alternateur alimentant le convertisseur (ou la tension du réseau si l'appareil est branché sur un réseau). Dans tous les problèmes à traiter, OC est supposé constant à toutes les charges, si l'on ne fait pas d'hypothèses contraires ;

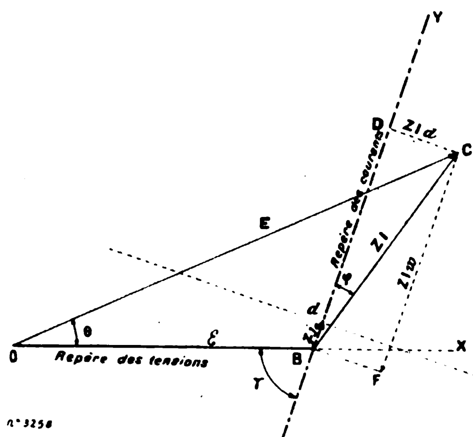


Fig. 2.

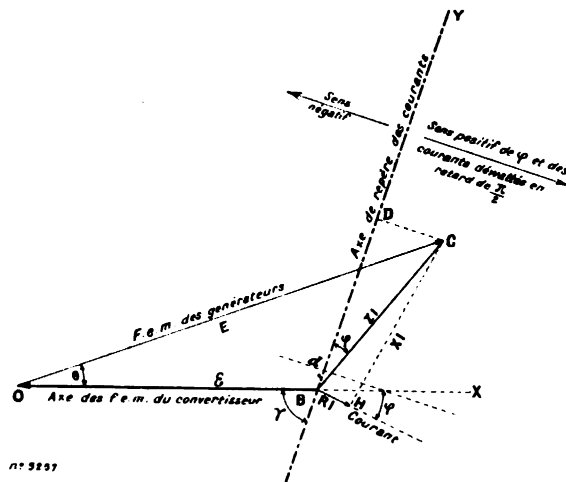


Fig. 3.

Soient : R la résistance du *circuit* primaire du convertisseur ; $X = \omega (L + l + s)$ sa réactance, $Z = \sqrt{R^2 + X^2}$ son impédance ; $\operatorname{tg} \gamma = \frac{X}{R}$ le coefficient de réactance.

Il s'agit ici du circuit primaire, *induit compris*. La constante X de réactance doit donc comprendre la réactance ωL des bobines de réaction mises en série avec le convertisseur et celle ωl de l'alternateur et de la ligne si l'alimentation est faite par un alternateur, et non par un réseau, et enfin la réactance ωs correspondant à l'effet des *fuites magnétiques* propres de l'induit.

Pour chaque valeur θ du décalage entre les forces électromotrices E et $\mathcal{E}$, le troisième côté BC du triangle COB, représente la force électromotrice résultante de E et $\mathcal{E}$, laquelle est égale au produit de l'impédance Z par le courant I qui la traverse. Si on a construit sur BC comme hypothénuse avec un angle γ en B le triangle CBH, celui-ci donne donc

$$BH = RI \qquad HC = XI.$$

Nous appellerons toujours φ l'angle de décalage du courant par rapport à la tension aux bornes.

Pour que le vecteur BC mesure le courant I lui-même en grandeur et en phase, il suffit de prendre pour les ampères une échelle Z fois plus grande que pour les volts et de prendre comme origine des décalages des courants une ligne de repère BDY faisant avec OX l'angle γ défini plus haut. L'angle DBC mesure alors le décalage φ, *en retard s'il est à droite* de BD et en avance s'il est à gauche. Nous comptons donc le courant déwatté, I_d, comme *positif* à droite de D et *négatif* à gauche.

Si on abaisse de C (fig. 3) une perpendiculaire CD sur cette droite BY, les segments CD et BD

mesurent les courants déwattés et wattés pour chaque position de C. Le courant watté I_w peut être considéré lui-même comme la somme de deux parties, l'une fixe j_0 représentée par le segment B*d*, qui correspond aux pertes par frottement, effet Joule, hystérésis et Foucault, presque constantes et l'autre représentée par D*d*, qui correspond à l'énergie du courant secondaire utile et proportionnelle à celui-ci.

Equation fondamentale. — L'équation fondamentale qui relie $\mathcal{E}$, E et les courants watté et déwatté s'écrit immédiatement d'après la figure 2. Le triangle OBC donne en effet

$$E^2 = \mathcal{E}^2 + (ZI)^2 + 2\mathcal{E}\,(\text{proj. ZI sur } \mathcal{E}) \qquad (a)$$

ou en remarquant que $I^2 = I_w^2 + I_d^2$ et remplaçant la projection de BC par celle de BDC

$$E^2 = \mathcal{E}^2 + Z^2(I^2_d + I^2_w) + 2\mathcal{E}Z(I_w \cos\gamma + I_d \sin\gamma) \qquad (1)$$

ou si l'on remarque que

$$\begin{cases} Z\cos\gamma = R \text{ résistance} \\ Z\sin\gamma = X \text{ réactance.} \end{cases}$$

$$E^2 = \mathcal{E}^2_2 + Z^2(I^2_d + I^2_w) + 2\mathcal{E}(RI_w + XI_d) \qquad (2)$$

Cette équation permet de calculer le courant déwatté I_d en fonction de la charge, c'est-à-dire du courant watté I_w ; car en résolvant par rapport à ZI_d, on a

$$Z^2 I^2_d + 2\mathcal{E}\sin\gamma\, ZI_d + \mathcal{E}^2 - E^2 + Z^2I^2_w + 2\mathcal{E}Z\,I_w\cos\gamma = 0$$

$$I_d = \frac{1}{Z}\left[-\mathcal{E}\sin\gamma + \sqrt{\mathcal{E}^2\sin^2\gamma + E^2 - Z^2I^2_w - 2\mathcal{E}ZI_w\cos\gamma}\right]. \qquad (3)$$

Nous mettrons plus loin cette expression sous une autre forme.

Application de l'épure ; représentation du fonctionnement, a potentiel constant aux bornes du réseau primaire et aux balais. — Si l'on se contente de vouloir maintenir le potentiel aux bornes constant, le segment OB $= \mathcal{E}$ reste constant et pour connaître tous les régimes, il suffit de faire décrire au point C qui définit le régime un cercle autour de O comme centre avec le rayon constant OC $=$ E. Pour chaque position de C la charge est mesurée par *d*D et le courant déwatté par CD. On voit ainsi sur la figure 4 que le courant déwatté, positif pour les faibles charges, diminue à charge croissante depuis le maximum en F (débit secondaire seul) jusqu'à zéro en G, puis change de signe et recommence à croître.

Si l'on fait varier la force électromotrice d'alimentation E, ce qui revient à changer le rayon OC du cercle, on peut modifier à volonté la charge pour laquelle le courant déwatté s'annule.

La figure 5 par exemple, où l'on a tracé quatre cercles de rayons différents, montre qu'on peut annuler le décalage pour une charge utile dC_2 ou pour une charge zéro au lieu de *d*G, et même rendre, si l'on veut, le décalage négatif à toutes charges.

On voit que dans tous les cas on ne peut empêcher le courant déwatté d'être essentiellement variable d'une charge à l'autre ; comme il produit une action magnétisante ou démagnétisante égale à celle de

$$K\,\frac{N}{2}\,I_d\sqrt{2} \text{ ampères-tours inducteurs,}$$

on ne saurait maintenir une tension constante à l'aide d'une excitation constante si l'impédance du circuit n'est pas nulle, mais il faut augmenter ou réduire les ampères-tours d'excitation d'une quantité égale et opposée à celle des ampères-tours déwattés, de façon que le flux inducteur total reste constant [1].

---

[1] La variation des fuites peut introduire une petite complication comme on le verra plus loin.

A égale valeur de γ, si l'on fait varier l'impédance Z, on voit que plus elle est grande plus, l'échelle des ampères est grande, et par suite moins grande est la variation de charge qui correspond à un déplacement angulaire donné du vecteur OC. Les variations du courant watté avec la charge seront donc d'autant plus grandes que l'impédance du circuit sera plus forte.

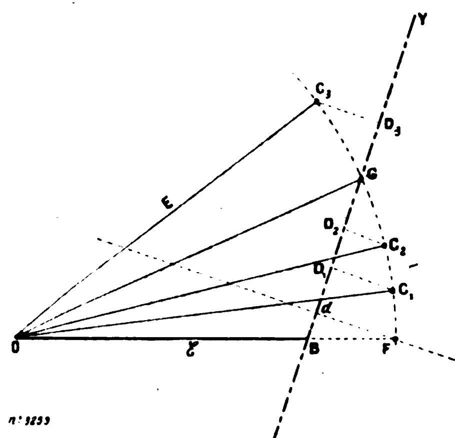


Fig. 4.

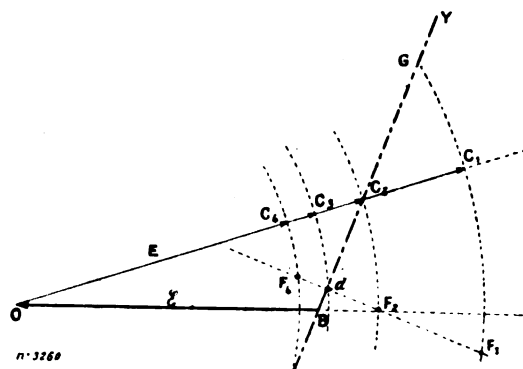


Fig. 5.

Si on fait varier l'impédance Z, en modifiant seulement la réactance X sans changer la résistance R, la question est moins claire, car l'orientation de la droite de repère OY change en même temps que l'échelle des intensités. Elle sera traitée ci-dessous avec détails à propos du cas genéral.

Cas général. — *Valeurs du courant déwatté pour une variation de tension donnée en fonction de la charge.* — Dans le cas le plus ordinaire, on doit chercher à relever un peu le voltage quand la charge augmente, pour compenser les pertes dans la distribution.

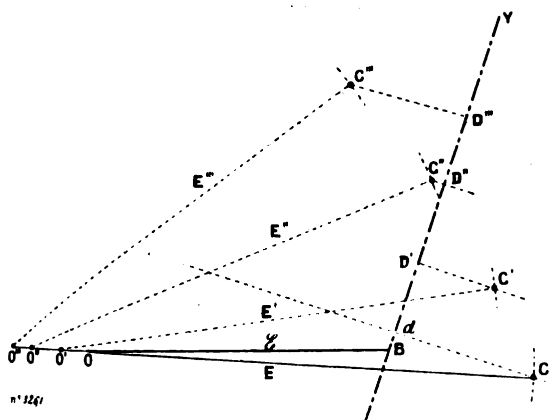


Fig. 6.

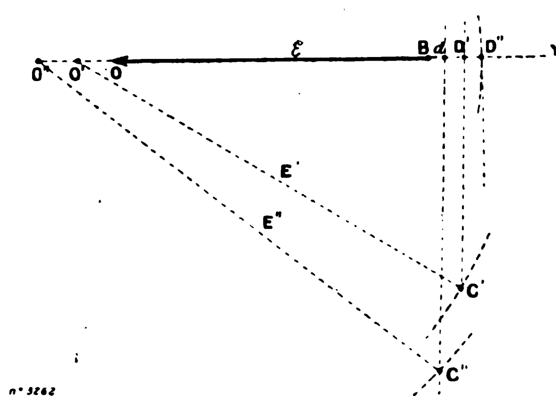


Fig. 7.

Soit (fig.6) $\mathcal{E}$ la force électromotrice à vide $\mathcal{E}'$, $\mathcal{E}''$, $\mathcal{E}'''$, etc., les valeurs successives que doit prendre $\mathcal{E}$ quand les charges correspondent à des courants wattés I'_w, I''_w, I'''_w, etc. On portera ces courants sur la ligne de repère BY à partir de B en BD', BD'', BD''' et les forces électromotrices, sur la ligne horizontale BO à partir de B vers la gauche en BO, BO', BO'', BO''', etc.

De chacun des points (fig. 6) O ainsi déterminés on tracera un arc de cercle avec un même

rayon égal à la force électromotrice extérieure E, constante supposée donnée [1]. Les points de rencontre respectifs avec les lignes dC, $D'C'$, $D''C''$, $D'''C'''$ menées perpendiculairement à la ligne de repère BY donnent les points régimes correspondant aux diverses charges.

Les courants déwattés correspondant à celles-ci sont donc entièrement déterminés.

On voit qu'il y a une infinité de solutions possibles suivant la valeur qu'on choisit pour la force électromotrice constante E, force électromotrice qu'on est maître de réaliser plus ou moins élevée par le choix du rapport de transformation des transformateurs statiques alimentant les convertisseurs.

En outre, on est maître aussi de l'impédance Z, dans certaines limites tout au moins, par l'addition de self-inductions dans le circuit d'alimentation. (Il va sans dire qu'on doit réduire le plus possible la résistance morte pour ne pas déprimer le rendement.) On doit donc rechercher maintenant quelles sont les valeurs les plus favorables à choisir pour E et pour X; c'est ce que nous allons faire dans les deux paragraphes suivants.

Valeur la plus avantageuse à choisir pour la force électromotrice d'alimentation. — C'est évidemment celle qui annule le décalage pour le régime de charge le plus fréquent, car on obtient ainsi le minimum de courant et par suite le meilleur rendement de la ligne, et la meilleure utilisation des appareils. Ce régime peut être déterminé d'après les conditions d'emploi prévues.

On pourrait être tenté de le fixer *a priori* au maximum de la charge, car c'est à ce moment qu'on a le plus besoin de ne rien perdre inutilement; mais comme il s'agit toujours en pratique d'une question d'échauffement *moyen* et de rendement *moyen* journalier, c'est à la charge normale qu'il faut appliquer de préférence cette condition de décalage nul et non aux régimes forcés accidentels.

Il y a du reste intérêt, pour réaliser avec plus de précision la variation de voltage voulue, à placer le régime de décalage nul vers la charge moyenne. On ne peut en effet, comme on le verra ci-dessous, réaliser avec exactitude par les procedés pratiques d'excitation, que les voltages correspondant au décalage nul et à la charge nulle.

Valeur la plus avantageuse à choisir pour la réactance X. — Il est tout d'abord fort important de remarquer qu'une certaine réactance minima est nécessaire si l'on veut obtenir avec une force électromotrice constante E des tensions croissantes, ou même seulemeut constantes, avec la charge.

Supposons en effet qu'on ait un circuit sans réactance, ce qui donne $\gamma = 0$; la ligne de repère BY (fig. 7) se confondra alors avec l'axe OX et les courants de charges croissantes seront représentés en Bd, $BD'BD''$... Soit D'' par exemple le régime normal sans décalage : les vecteurs Cd, $C'D'$, $C''D''$ qui mesurent les courants déwattés correspondants vont en croissant extrêmement vite aux faibles charges, et comme l'échelle des courants est très petite vu la petitesse de Z, on voit que les courants déwattés aux faibles charges seraient énormes. Au contraire dans le cas de la figure 6, grâce au fait que les lignes de charge ne sont plus perpendiculaires à OB, il est facile de trouver avec une force électromotrice constante E et de faibles courants déwattés, des points régimes C, C', C'' correspondant à des points O, O', O'' qui se déplacent vers la gauche, et par conséquent faisant croître la tension aux balais $\frac{\mathcal{E}}{\xi}$.

Donc, avec une source à force électromotrice constante, on ne peut obtenir économiquement une régulation à voltage constant ou croissant avec la charge que si le circuit contient une certaine self-induction.

Cela posé, on peut se rendre compte assez facilement de l'influence de la réactance, en supposant qu'on annule toujours le décalage à la même charge, c'est-à-dire pour la même intensité de courant watté I_w. En effet (fig. 8) tous les points régimes G correspondant à cette condition se trouvent à des distances ZI_w du point B proportionnelles aux impédances $Z = \sqrt{R^2 + X^2}$; donc

[1] Sur la figure 6 on a, pour plus de généralité, supposé que les forces électromotrices E', E'', E''' pourraient être inégales.

si on prend sur le prolongement de OB un segment BK égal à RI_w, tous les points G correspondant à des réactances X différentes se trouvent sur la droite KP perpendiculaire à OK. De même le point de charge nulle d se trouve sur la perpendiculaire kd correspondant à un segment $Bk = Rj_0$. Nous allons comparer, dans les divers cas, les valeurs du courant déwatté i_0 correspondant à ce régime de charge nulle.

Ce courant déwatté s'obtient en traçant par d la droite dF perpendiculaire à BG jusqu'à sa rencontre avec le cercle de rayon E. Pour ramener ce courant à être comparable à BK, il suffit de réduire aussi le segment dF dans le rapport $\frac{R}{Z}$, ce qu'on obtient en le projetant sur KG. Le segment d'F' mesure la valeur Ri_0, tandis que BK mesure RI_w.

Par ce procédé tous les courants se trouvent ramenés à une même échelle i_0 quelle que soit la

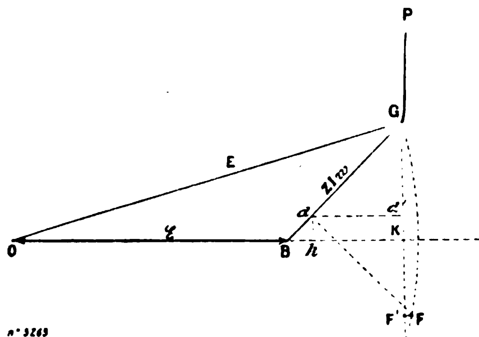


Fig. 8.

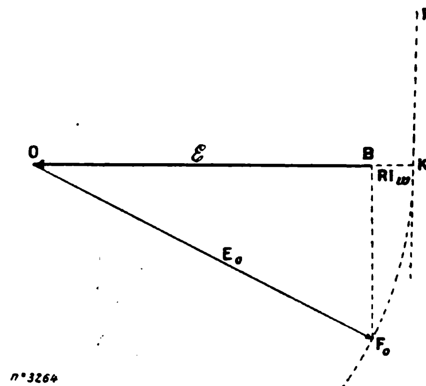


Fig. 9.

valeur de Z. En recommençant la construction pour diverses inclinaisons de la droite de repère BG on trouve que le courant déwatté très grand pour les très faibles décalages de cette droite diminue d'abord vite puis plus lentement.

Pour suivre plus facilement la loi de variation, supposons le courant watté à vide nul ($j_0 = 0$), c'est-à-dire confondons d avec D (fig. 10). Le courant déwatté i_0 est alors proportionnel simplement à la hauteur FH.

Si l'on élève le point G peu à peu sur la verticale KG en partant du point K, le courant déwatté est d'abord égal à $\frac{BF_0}{R}$ (fig. 9) puis il va en décroissant; il se réduit par exemple à FH pour la position G. Puis quand G sera très élevé, on voit qu'une surélévation G′ G″ par exemple accroîtra presque proportionnellement le rayon E sans modifier sensiblement l'inclinaison du segment BF′. De sorte qu'en augmentant la réactance au delà d'un certain point le courant déwatté à vide i_0 croît avec elle.

i_0 doit donc avoir un minimum et à chaque valeur plus élevée correspondront deux valeurs de la réactance, deux inclinaisons de la droite BG, l'une plus grande, l'autre plus faible.

Pour préciser davantage cette recherche du minimum, il suffit de recourir au calcul en exprimant qu'une même valeur de la tension d'alimentation E permet d'obtenir le régime sans décalage G et le régime sans travail F.

Pour plus de généralité reprenons le cas général où j_0 n'est pas nul et où l'on désire une tension en charge $\mathcal{E}'$ différente de la tension à vide $\mathcal{E}$.

On aura les deux relations suivantes :

Au point G

$$E^2 = \mathcal{E}'^2 + Z^2 I_w^2 + 2\mathcal{E}' R I_w. \qquad (a)$$

Au point F

$$E^2 = \mathcal{E}^2 + Z^2 i_0^2 + 2\mathcal{E} X i_0 \qquad (b)$$

D'où en éliminant E

$$\mathcal{E}'^2 + Z^2 I^2_w + 2\mathcal{E}' R I_w - \mathcal{E}^2 - Z^2 i_0^2 - 2\mathcal{E} X i_0 = 0. \qquad (4)$$

Telle est la condition cherchée. En résolvant par rapport à i_0, puis par rapport à la réactance X, on obtient les deux formules suivantes :

$$i_0 = \frac{-\mathcal{E}X + \sqrt{\mathcal{E}^2 X^2 + Z^2(\mathcal{E}'^2 - \mathcal{E}^2 + Z^2 I^2_w + 2\mathcal{E}' R I_w)}}{Z^2} \qquad (5)$$

$$X = \frac{\mathcal{E} i_0 \pm \sqrt{\mathcal{E}^2 i_0^2 - (I^2_w - i_0^2)[\mathcal{E}'^2 - \mathcal{E}^2 + R^2(I^2_w - i_0^2) + 2\mathcal{E}' R I_w}}{I^2_w - i_0^2} \qquad (6)$$

Nous prenons dans i_0 le radical avec le signe + seul parce que, pour chaque valeur de X, i_0 n'a jamais qu'une seule valeur, et forcément positive ; au contraire on a vu que X a deux valeurs pour chaque valeur de i_0 ; d'où nécessité de prendre les deux signes devant le radical.

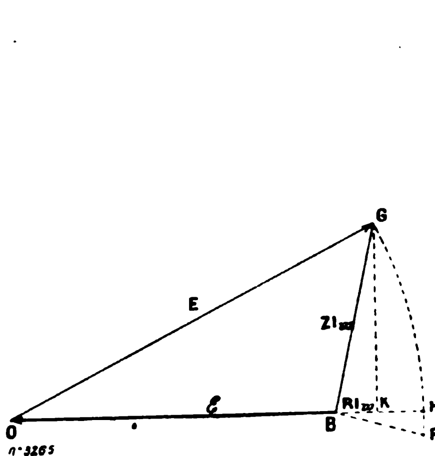


Fig. 10.

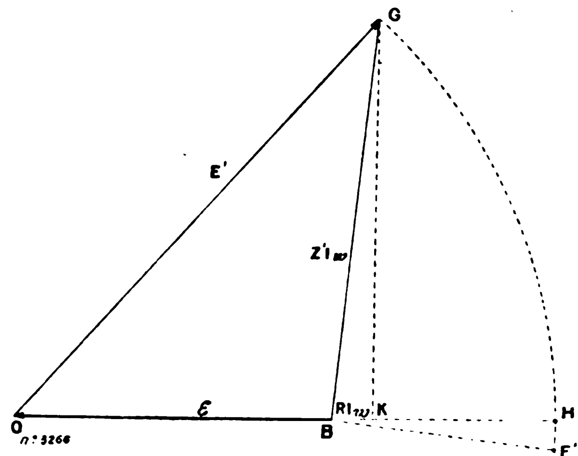


Fig. 11.

La valeur minima de i_0 pourrait s'obtenir en annulant la dérivée de l'équation (5) ; mais il est plus simple d'annuler le radical de l'équation (6), car la valeur minima possible de i_0 est évidemment celle au-dessous de laquelle la valeur de X deviendrait imaginaire.

Nous écrivons donc, en ordonnant pour simplifier par rapport à $I^2_w - i_0^2$, au lieu de i_0^2, le polynôme sous le radical de (6),

$$\mathcal{E}^2 I^2_w - (I^2 - i_0^2)[\mathcal{E}_w'^2 + 2\mathcal{E}' R I_w] - R^2(I^2_w - i_0^2)^2 = 0. \qquad (7)$$

La chute ohmique ne devant être qu'une très faible fraction de E, le dernier terme $R^2(I^2_w - i_0^2)$ peut être négligé, et on obtient ainsi la valeur approchée

$$I^2_w - i_0^2 = \frac{I_w \; E_1^2}{\mathcal{E}'^2 - \mathcal{E}^2 + 2\mathcal{E}' R I_w}$$

ou

$$\text{minimum } i_0^2 = \frac{\mathcal{E}'^2 - \mathcal{E}^2 + 2\mathcal{E}' R I_w}{\mathcal{E}'^2 + 2\mathcal{E}' R I_w} I^2_w.$$

Le radical de l'équation (6) s'annulant sensiblement pour cette valeur, l'expression de X correspondant au minimum de courant déwatté i_0 est simplement par approximation

$$X_0 = \frac{\mathcal{E} i_0}{I^2_w - i_0^2}$$

ou en substituant i_0

$$X_0 = \frac{\sqrt{(\mathcal{E}'^2 + 2\mathcal{E}'RI_w)(\mathcal{E}'^2 + 2\mathcal{E}'RI_w - \mathcal{E}^2)}}{\mathcal{E}I_w}.$$

Telle est la réactance la plus avantageuse pour la réduction de i_0. Comme d'autre part, la tension d'alimentation nécessaire croît avec la réactance X et qu'on doit chercher à la conserver aussi faible que possible pour utiliser le mieux possible le matériel générateur et ne pas lui donner des dimensions exagérées par rapport à la puissance réellement débitée, il faut conclure que *la réactance devra en général être comprise entre zéro et la valeur* X_0 *qui correspond au courant déwatté minimum à vide.*

Remarque I. — Les formules 5, 6, 7, 8 peuvent se mettre sous une forme souvent plus commode pour la pratique en exprimant les valeurs i_0 en fonction de I_w, RI en fonction de $\mathcal{E}$, $\mathcal{E}'$ en fonction de $\mathcal{E}$, X en fonction de R.

Posons donc

$$\frac{\mathcal{E}'}{\mathcal{E}} = (1 + \varepsilon) \quad \frac{RI_w}{\mathcal{E}} = \alpha \quad \frac{X}{R} = m \quad \frac{i_0}{I_w} = \operatorname{tg} \varphi,$$

cos φ étant le facteur de puissance, et m la valeur de $tg\,\gamma$.

On en déduit

$$\frac{XI_w}{\mathcal{E}} = \alpha m$$

$$\frac{\mathcal{E}}{Z} = \frac{I_w}{\alpha\sqrt{1+m^2}}$$

et les formules équivalentes

$$i_0 = \frac{I_w}{\alpha(1+m^2)} \left\{ -m + \sqrt{m^2 + \alpha^2(1+m^2)^2 + (1+m^2)\left[\varepsilon^2 + 2\varepsilon + 2\alpha(1+\varepsilon)\right]} \right\} \qquad (5')$$

$$X = \frac{R \operatorname{tg}\varphi}{\alpha(1-\operatorname{tg}^2\varphi)} \pm R \sqrt{\frac{\operatorname{tg}^2\varphi}{\alpha^2(1-\operatorname{tg}^2\psi)} - \frac{\frac{2}{\alpha}(1+\varepsilon) + \frac{\varepsilon^2+2\varepsilon}{\alpha^2}}{1-\operatorname{tg}^2\varphi} - 1} \qquad (6')$$

$$\text{minimum } i_0^2 = I^2_w \frac{(1+\varepsilon)^2 - 1 + 2\alpha(1+\varepsilon)}{(1+\varepsilon)^2 + 2\alpha(1+\varepsilon)} \qquad (7')$$

$$X_0 = \frac{R}{\alpha}\sqrt{\left[(1+\varepsilon)^2 + 2\alpha(1+\varepsilon)\right]\left[\varepsilon^2 + 2\varepsilon + 2\alpha(1+\varepsilon)\right]}. \qquad (8')$$

En particulier dans le cas où la tension doit être invariable, $\mathcal{E}' = \mathcal{E}$ ou $\varepsilon = 0$, l'expression de i_0^2 se réduit simplement à

$$i_0^2 = I^2_w \frac{2\alpha}{1+2\alpha}$$

qui donne sensiblement

$$i_0 = I_w\sqrt{2\alpha}. \quad \text{et} \quad X_0 = \frac{R}{\alpha}\sqrt{2\alpha(1+2\alpha)}$$

ou sensiblement $X_0 = R\sqrt{\frac{2}{\alpha}}$.

Remarque 2. — Dans le cas particulier où $i_0 = I_w$, $\operatorname{tg}\varphi = 1$, les formules (7) et (7′) ne sont plus applicables et doivent être remplacées par les suivantes déduites de l'équation (4)

$$X = \frac{\mathcal{E}'}{\mathcal{E}} \frac{RI_w}{i_0} - \frac{\mathcal{E}'^2 - \mathcal{E}^2}{2\mathcal{E}i_0} \qquad (7a)$$

ou

$$X = \frac{R}{\operatorname{tg}\varphi}\left[(1+\varepsilon) - \frac{\varepsilon^2 + 2\varepsilon}{2\alpha}\right]. \qquad (7a')$$

Régulation de la tension aux bornes par variation de la tension alimentaire E. — Dans tout ce qui précède, on a supposé la tension d'alimentation E constante à toutes charges ; c'est ce qui oblige à avoir du courant déwatté aux faibles charges.

On peut au contraire se proposer de compounder ou régler automatiquement l'excitation de l'alternateur de façon que sa force électromotrice E aille en croissant avec la charge. Ce compoundage dispensera alors de toute réactance et on pourra diriger la ligne de repère en prolongement de la ligne OB, en n'admettant d'autre chute de voltage que la chute ohmique.

Cette solution est évidemment la plus parfaite théoriquement, mais elle ne pourrait être réalisée exactement que dans le cas exceptionnel où des convertisseurs seraient seuls alimentés par un alternateur.

Fig. 12.

Fig. 13.

Sinon on ne peut établir de corrélation entre la charge des convertisseurs et celles des lignes qui distribuent le courant en même temps à d'autres appareils.

Mais on peut se rapprocher par approximation de cette méthode de régulation en alimentant les convertisseurs par des transformateurs à rapport de transformation variable au moyen d'un secondaire divisé en sections aboutissant à un commutateur à touches.

L'épure fondamentale (fig. 12), ou la formule (*a*), détermine les valeurs à donner à E pour chaque valeur de la force électromotrice $\mathcal{E}$ et de la charge ZI_w portée sur la ligne BY correspondant à la réactance fixe du circuit. La valeur la plus avantageuse de cette dernière est évidemment ici la plus faible possible, $X = 0$ si on peut ; car c'est celle qui réduit au minimum les valeurs de la force électromotrice nécessaire E. On devra donc n'intercaler aucune self-induction supplémentaire dans le circuit. BY vient alors en prolongement de OB.

Régulation de la tension aux bornes par variation de la réactance — On peut aussi annuler le décalage à toutes charges plus simplement en gardant une tension d'alimentation constante E, égale à celle qui est nécessaire pour assurer le voltage aux bornes désiré à pleine charge sans courant déwatté, et réduisant ce voltage aux charges décroissantes par l'addition de réactances convenables en circuit.

La figure 13 explique ce mode de régulation dans le cas d'une force électromotrice E, constante et permet de la préciser. Soit $BK = RI_w$, la perte de voltage par effet Joule dans le circuit à pleine charge ; le segment BK peut servir à représenter le courant watté.

Si on représente de même par BK', BK'' des courants intermédiaires et qu'on élève les perpendiculaires correspondantes KG, $K'G'$, $K''G''$, leurs rencontres G, G', G'' avec le cercle du rayon E décrit autour du centre O définiront les régimes qui réalisent ces charges.

Pour qu'ils soient obtenus sans courants déwattés, il suffit que pour chacun d'eux, la réactance

soit choisie précisément égale à celle qui fait passer la ligne de repère par G. C'est-à-dire qu'il suffira de faire la réactance X égale successivement à

$$\frac{GK}{BK} \times R; \frac{G'K'}{BK'} \times R; \frac{G''K''}{BK''} \times R; \text{etc.}$$

Ces valeurs de X peuvent être calculées pour chaque valeur de I_w par l'équation (a) donnée plus haut.

$$E^2 = \mathcal{E}'^2 + Z^2 I^2_w + 2\mathcal{E}' R I_w$$

d'où

$$X^2 = -R^2 + \frac{E^2 - \mathcal{E}'^2 - 2\mathcal{E}' R I_w}{I^2_w}.$$

Pratiquement, cette régulation pourra être faite à la main ou même automatiquement en employant en série des bobines de self-induction à noyaux mobiles, qu'on enfoncera au maximum à vide et qu'on retirera peu à peu sous les charges croissantes, de façon à ramener toujours au zéro les indications d'un phasemètre à lecture directe branché aux bornes des convertisseurs.

La méthode est applicable, quelle que soit la valeur de E, c'est-à-dire du rayon du cercle ; mais la valeur la plus avantageuse est évidemment la plus petite, qui correspond à

$$E = \mathcal{E}' + RI.$$

La figure suppose que le lieu du point G est un cercle ; mais si la tension $\mathcal{E}$ varie, le centre O de ce cercle se déplace et le lieu de G est une courbe, qu'on peut tracer par points d'après les données. Cela ne modifie en rien la méthode.

Facteur de puissance du générateur. — Dans ce qui précède nous avons insisté sur la nécessité de ne pas accroître trop la force électromotrice $\mathcal{E}$. On chiffre ordinairement les inconvénients de cette augmentation inutile par la valeur du *facteur de puissance* c'est-à-dire du cosinus du décalage entre la force électromotrice et le courant.

Appelons ψ ce décalage et θ celui de $\mathcal{E}$ par rapport à E; d'autre part on a appelé φ le décalage du courant par rapport à $\mathcal{E}$ en posant

$$\text{tg}\, \varphi = \frac{I_d}{I_w}$$

et cet angle de retard φ est toujours dirigé dans le même sens que θ (voir fig. 1), c'est-à-dire compté positivement dans le sens des aiguilles d'une montre. On a donc

$$\psi = \theta + \varphi.$$

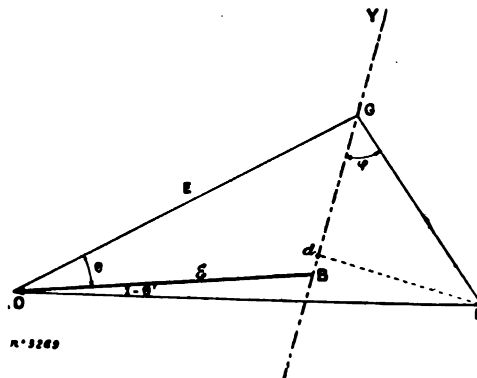


Fig. 14.

Pour le régime moyen G, dit sans décalage, on a $\varphi = 0$ et ψ se réduit à l'angle θ lui-même.

Pour accroître le facteur de puissance du générateur à la charge moyenne, on devra donc réduire autant que possible θ et par suite $\mathcal{E}$ comme on l'a dit plus haut.

Cette considération beaucoup plus importante que la réduction du décalage à vide par rapport à la force électromotrice du convertisseur conduira en général à adopter pour la réactance une valeur comprise entre zéro et la valeur qui rend ce dernier minimum. Cela est d'autant plus indiqué qu'aux charges très faibles le décalage θ devient alors négatif comme l'indique la figure 14 et que la valeur de ψ est une différence

$$\psi = \varphi - \theta'$$

qui ne croît que lentement avec φ.

Il sera logique de chercher à égaler θ et $\varphi - \theta'$, de façon à rendre égales et minima les deux valeurs extrêmes de ψ.

A. Blondel.

(*A Suivre*).

ACCUMULATEURS « PEIGNE »

DE LA SOCIÉTÉ ÉLECTRIQUE DU NORD

Les plaques positive et négative de cet accumulateur (fig. 1 et 2) sont formées par la juxtaposition de lamelles en plomb coulé dont les deux faces sont creusées de cavités rectangulaires qui donnent à chaque lamelle l'aspect d'un double peigne, d'où le nom de l'accumulateur. Après avoir été empâtées, un certain nombre de ces lamelles sont disposées les unes à côté des autres,

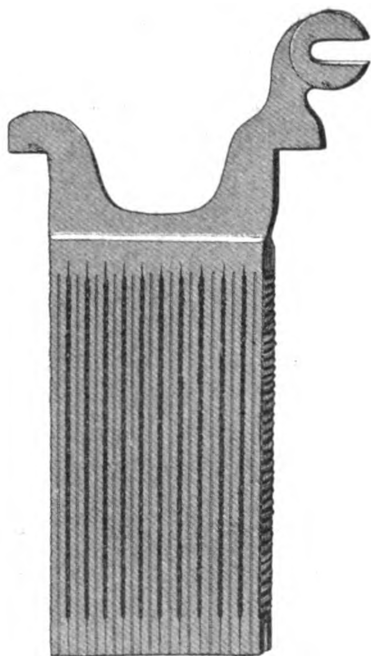


Fig. 1. Positive, type A.

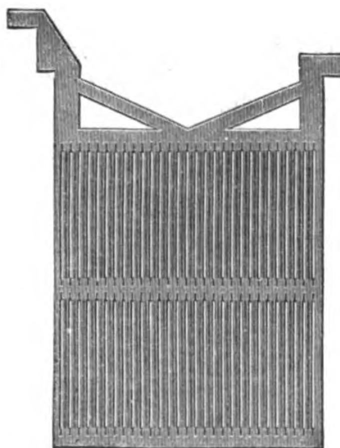


Fig. 3. — Plaque, type B.

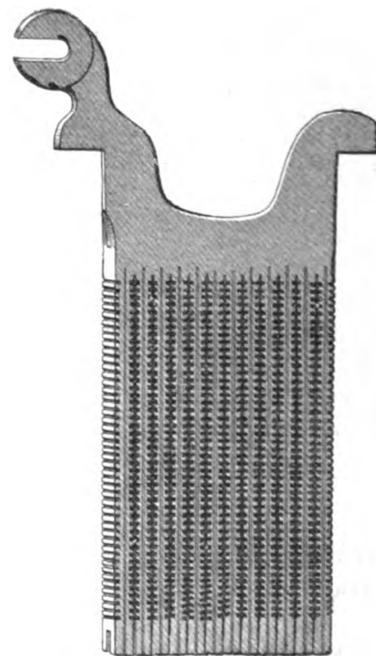


Fig. 2. — Négative, type A.

Fig. 1 à 3. — Accumulateurs « Peigne » de la Société électrique du Nord.

puis assemblées par la tête de la plaque de façon que leur plus petite épaisseur se trouve dans le sens de la largeur de la plaque.

Cette disposition permet le foisonnement de la matière active sans altération de la planéité des plaques, car ce foisonnement ne peut avoir d'autre effet que d'écarter les lamelles les unes des autres ; il n'y a donc pas gondolement des plaques et, par conséquent, pas de court-circuit entre deux plaques voisines. En outre la forme en auget des cavités des lamelles empêche la chute de la matière active.

Pour les éléments d'une capacité inférieure à 240 ampères-heure, les constructeurs ont adopté des plaques de dimensions relativement faibles (type A), les plaques de grandes dimensions étant toujours sujettes à déformation, quelles que soient les dispositions prises pour l'éviter. Lorsqu'on a besoin d'une capacité comprise entre 240 et 480 ampères-heure, les constructeurs conseillent l'emploi de deux éléments en dérivation. Pour les capacités supérieures ils adoptent un autre type (type B), dont la plaque est formée par la superposition de deux rangées de lamelles soutenues par un système d'entretoises (fig. 3)

Les tableaux I et II indiquent les dimensions, poids, capacités, etc. de ces deux types de plaques. Ces accumulateurs sont destinés à la constitution des batteries fixes des stations cen-

trales ; pour la traction, la Société Électrique du Nord étudie un autre type beaucoup plus léger, mais basé sur les mêmes principes que les précédents.

Tableau I. — *Dimensions et poids des accumulateurs Peigne.*

TYPE			A_5	B_8
Nombre de plaques positives			5	8
» négatives			6	9
Plaques.	Largeur	mm	120	420
	Hauteur	»	200	400
	Epaisseur	»	20	15
	Surface active	dcm^2	10	52
	Surface positive totale d'un élément	»	50	416
Poids.	Plaques positives	kg	2,90	13,60
	» négatives	»	2,84	13,60
	» minces d'extrémité	»	1,50	8,70
	Plaques d'un élément	»	28,86	221,40

Tableau II. — *Débit, capacité, puissance des accumulateurs Peigne.*

TYPE			A_5			B_8		
Densité de l'électrolyse avant décharge.			26° Baumé.			26° Baumé.		
» » après décharge.			22° »			22° »		
Durée de la décharge		heures.	3	5	10	3	5	10
Débit en amp.	Par dcm^2 de surface positive.		0,66	0,50	0,30	0,62	0,48	0,29
	Par kg de plaque		1,14	0,86	0,52	1,17	0,90	0,54
	par élément		33	25	15	260	200	120
Force électromotrice par élément.		en volts.	1,9	1,9	1,9	1,9	1,9	1,9
Puissance en watts	Par kg de plaque.		2,17	1,65	0,99	2,23	1,78	1,03
	Par élément.		62,70	47,50	28,50	494	380	228
Capacité en amp.-h	Par kg de plaque.		3,43	4,33	5,20	3,52	4,51	5,42
	Par élément.		99	125	150	780	1 000	1 200
Énergie en watts-heure.	Par kg de plaque.		6,52	8,25	9,88	6,69	8,90	10,30
	Par élément.		188,10	237,50	285	1 482	1 900	2 280
	Pour 60 éléments.		11 286	14 250	17 100	88 920	114 000	136 800

J. Reyval.

REVUE INDUSTRIELLE ET SCIENTIFIQUE

GÉNÉRATION ET DISTRIBUTION

Perfectionnements de l'Accumulatoren und Elektricitæts Werke, Act. Ges. vorm Bœse und Co. aux presses à plomb destinées à la fabrication des plaques d'accumulateurs. Brevet anglais n° 5293, demandé le 20 mars 1900 ; accepté le 1er septembre 1900.

Deux rouleaux d, e (fig. 1), sont placés devant l'ajutage c d'une presse à plomb a. Le plomb chauffé à une température convenable est chassé par le piston b entre les rouleaux.

Les deux rouleaux sont montés sur un bâti f; les axes d_1, e_1 des rouleaux peuvent être rapprochés ou éloignés en manœuvrant les volants gg. Sur l'axe de chaque rouleau il y a une roue dentée d_2, e_2 ; ces deux roues sont accouplées

respectivement à deux roues d'engrenage *h*, *k*, qui s'engrènent en outre elles-mêmes ; enfin une dernière roue dentée *i* commande tout l'équi-

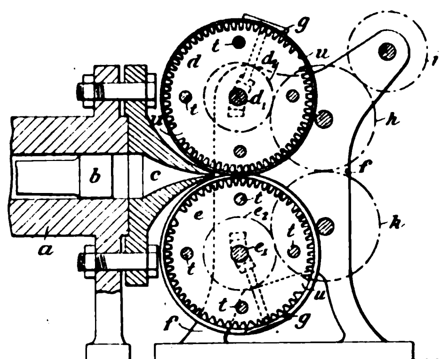


Fig. 1.

page au moyen de la poulie *l* qu'on voit sur la figure 2. Comme les roues d_2, e_2, et les roues *h* et *k* sont respectivement de même diamètre, les rouleaux *d* et *e* tournent à la même vitesse ; la disposition de ces engrenages montre que les deux rouleaux tournent en sens inverse.

Chaque rouleau *d*, *e*, se compose de 4 disques

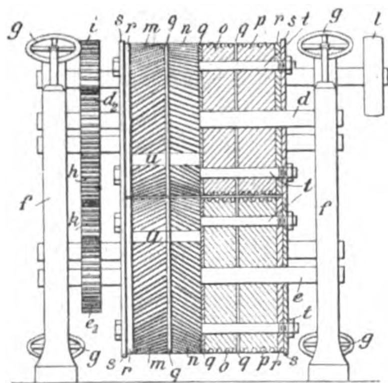


Fig. 2.

larges et striés obliquement, ces 4 disques *m*, *n*, *o*, *p* sont séparés entre eux par des disques étroits *q*, *q*, *q*, il y en outre deux autres disques *r*, *r*, et deux disques extrêmes *ss*.

Les disques extrêmes *ss*, ont un diamètre plus grand que les précédents de façon à toucher les disques *ss* de l'autre rouleau dans le but d'éviter l'échappement du plomb sur les côtés. Les rouleaux et les disques sont maintenus solidement par des boulons et des écrous *t*. Des bandes *uu* non striées sont réservées à la surface des rouleaux.

Les disques *rr* servent à former les bords de la plaque, les disques *qqq*, les nervures.

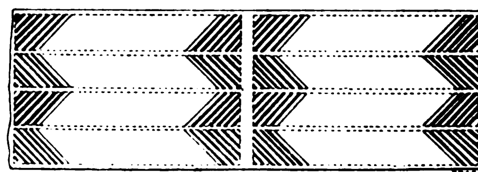


Fig. 3.

La figure 3 montre une plaque double obtenue avec cette machine, la partie centrale large non striée (correspondante à *u*) est destinée au passage de la scie quand on veut avoir deux plaques simples.

A. Brittain.

Installations électriques de l'imprimerie du « North American » à Philadelphie, par **J.-H. Vail.** *Electrical World and Engineer*, t. XXXVIII p. 129, 27 juillet 1901.

Le gigantesque édifice récemment construit à Philadelphie pour la rédaction et l'impression du *North American*, ne compte pas moins de 23 étages, dont 2 sous-sols. Les 21 autres au-dessus du sol donnent à l'édifice une hauteur totale de 76,80 m ; la surface de celui-ci est de 711,36 m².

Les installations électriques de ce vaste bâtiment sont des plus importantes, ainsi qu'on va le voir dans le résumé suivant.

La génération du courant s'effectue dans le sous-sol inférieur et comporte le matériel indiqué dans la légende de la figure 1.

Les chaudières sont du type de la Edgemoor Iron Works et fonctionnent chacune à la pression normale de 9,5 kg : cm². Ainsi qu'on peut le voir sur la figure 1, la fumée se rend par un carneau horizontal à la cheminée haute de 90 m, qui traverse l'édifice dans toute sa hauteur. Cette dernière est formée de tubes d'acier emboutis de 1,72 m de diamètre avec un revêtement extérieur en briques ; le tirage qu'elle donne est plus que suffisant et il y a lieu parfois de le modérer à l'aide de régulateurs. Les cendriers sont en tôle d'acier revêtus intérieurement de briques réfractaires ; les cendres et mâchefers en sont retirés d'un seul coup par une large raclette manœuvrée de l'extérieur,

laquelle les fait tomber dans un wagonnet plat que l'on amène ensuite à la surface par des monte-charges électriques.

Quoique l'emplacement fût restreint, il a été néanmoins possible d'emmagasiner dans le sous-sol 75 tonnes de charbon. Ce dernier est amené devant les foyers par un transporteur électrique à courroies.

Les chaudières sont alimentées chacune par une pompe Worthington, une duplex mue par un moteur à vapeur, et deux triplex actionnées par desmoteurs électriques. Les autres pompes affectées à différents services sont entraînées électriquement.

La vapeur d'échappement est utilisée pendant l'hiver pour le chauffage des différentes parties de l'édifice à l'aide d'appareils à vide système Warren Webster; pendant la saison chaude, elle se dégage à l'air libre au-dessus du toit.

Les moteurs à vapeur sont du type Porter-Allen et entraînent directement les dynamos Crocker Wheeler de 100 et de 200 kilowatts.

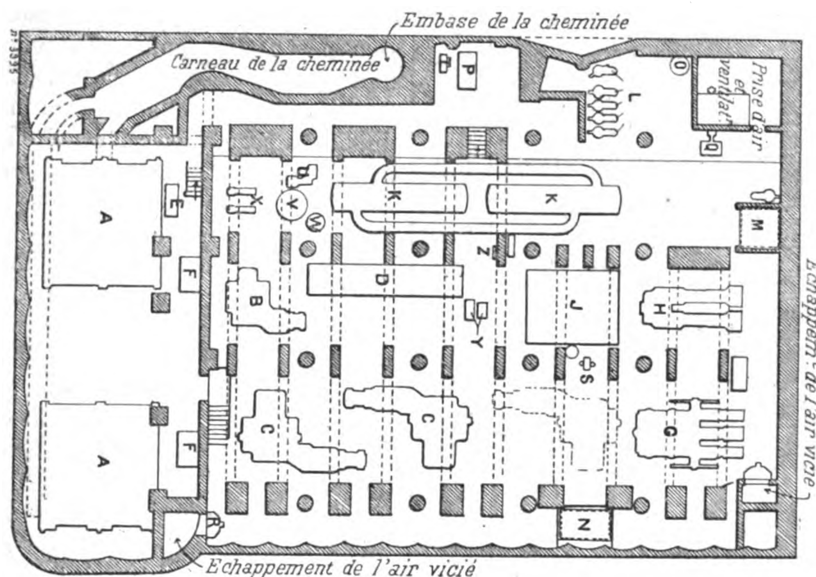


Fig. 1. — Plan de la station génératrice.

AA, Chaudières tubulaires à retour de flamme de 300 chevaux chacune. — B, Dynamo de 100 kilowatts et moteur de 150 chevaux. — C, Dynamo de 200 kilowatts et moteur de 300 chevaux. — D, Tableau de distribution. — E, F, G, H, I. Pompes d'alimentation des chaudières et autres services. — J, Bac réservoir. — K. Accumulateur de vapeur. — L, L..., cylindres d'ascenseurs. — M, N, O, Monte-charges. — P, Réservoir à eau chaude. — Q, R, ventilateurs électriques. — S, Compresseur d'air et accumulateur. — T, Machines à glace. — V, Glacières. — W, Condenseur. — X, Pompe à air pour faire le vide. — Y, Pompe et réservoir à eau. — Z, Ejecteur.

Ces dernières sont sur-compoundées pour la compensation automatique des pertes dans la distribution.

Le courant continu produit par les génératrices est amené par des câbles, logés dans des conduites vitrifiées, au tableau de distribution formé de 10 panneaux de marbre, dont 4 pour la génération, et 6 pour la distribution du courant. Chacun d'eux est pourvu des appareils nécessaires à la mesure et la répartition du courant.

La particularité de cette importante installation est le « Signal board » ou tableau indicateur situé dans le bureau de l'ingénieur en chef au troisième étage. A ce tableau viennent aboutir une série de fils et de tuyaux qui sont reliés aux appareils suivants :

Indicateurs à colonne d'eau montrant la position des ascenseurs hydrauliques. Indicateurs à colonne de mercure montrant la pression hydraulique. Compteurs indiquant le nombre de voyages accomplis par chaque ascenseur. Tubes à niveau indiquant la quantité d'eau contenue dans les réservoirs. Manomètre général pour la pression totale et manomètres enregistreurs indiquant les variations de pression de la vapeur utilisée. Ampèremètres et voltmètres enregistreurs, et enfin un thermomètre indiquant la température de l'eau potable.

La distribution du courant dans les nom-

breuses parties de l'édifice s'effectue suivant le système à deux fils à 220 volts. La disposition adoptée est indiquée par le schéma de la figure 2.

Fig. 2. — Schéma de la distribution et mode d'attache des feeders horizontaux.

Elle comprend 14 feeders dont les fonctions sont les suivantes : 5 sont affectés à l'éclairage des bureaux et ateliers, 5 autres à la force motrice dans la salle des presses, un pour chacune d'elles. Des 4 derniers, 1 donne de la force motrice au vingtième étage, un autre sert à l'éclairage des couloirs et lavatorys et les 2 restants sont des feeders auxiliaires pouvant être mis en parallèle avec n'importe quel feeder des autres services, suivant les besoins. Tous les câbles de la distribution, feeders et branchements, sont isolés au caoutchouc et protégés par une gaine en chanvre. Les câbles qui traversent les longs couloirs pour se brancher aux deux feeders de retour sont tendus à l'aide des appareils que l'on voit à gauche de la figure 2.

Les 5 grandes presses principales, situées dans le sous-sol supérieur sont des machines Hac pesant 60 tonnes chacune ; une sixième doit bientôt y être installée. Chaque presse en fonction est actionnée par un moteur électrique de 50 chevaux avec survolteur logés l'un et l'autre dans une excavation garnie intérieurement de plaques d'acier sous le parquet des machines. Grâce à cette disposition, l'opérateur peut donner à ces dernières tous les degrés de vitesse qu'il convient. En outre, des commutateurs sont installés en divers endroits de chaque presse, de sorte que si l'arrêt de la machine est nécessaire pour une cause quelconque n'importe quel ouvrier peut le provoquer du poste qu'il occupe, indépendamment du mécanicien. Les 6 presses fonctionnant ensemble à toute vitesse pendant une heure imprimeront, relieront et plieront 288 000 journaux de 12 pages chacun qui nécessiteront l'emploi de 482 700 m de papier, 2 174,40 kg d'encre et environ 6 342 kg de métal à stéréotypie. La salle des presses est éclairée par 15 lampes à arc clos, et chaque presse individuellement par 25 lampes à incandescence.

La salle de composition comprend 30 machines linotypes Mergenthaler actionnées chacune par un moteur électrique avec intermédiaire d'un engrenage réducteur à vis sans fin ; les appareils de mise en marche et de régulation sont placés à la portée du compositeur. Lorsque la composition d'une forme est terminée, un monte-charge électrique la transporte au vingtième étage dans la salle d'électrotypie et de moulage où se trouvent aussi les planeuse, raboteuse, polisseuse électriques, etc., qui servent à préparer les formes pour leur application sur les cylindres des presses.

Dans la salle de photogravure, de puissantes lampes à arc permettent de confectionner les clichés à tous moments et grâce à un matériel

perfectionné dans lequel l'électricité joue le plus grand rôle, on arrive à préparer un cliché en un peu plus de 30 minutes.

En résumé, l'énergie utilisée pour la force motrice est de 372 chevaux répartis entre 52 moteurs de puissances variant de un tiers de cheval à 50 chevaux. Trois nouvelles presses qu'on se propose d'installer prochainement et qui seront également actionnées par des moteurs électriques porteront le total à 520 chevaux.

L'éclairage intérieur de l'édifice nécessite l'emploi de 3 100 lampes à incandescence et 30 lampes à arc. On érige actuellement sur les corniches du toit un immense tableau réclame qui comportera 2 240 lampes de 8 bougies. Déjà plusieurs milliers de lampes de cette puissance entrent dans la composition du nombre 1901 dont les chiffres superposés occupent 20 étages d'une des façades.

De nombreux postes téléphoniques privés et publics, postes télégraphiques et tubes pneumatiques complètent l'installation de ce vaste édifice. L. Duet.

ÉCLAIRAGE

Essais photométriques sur une lampe Nernst, par **F. Lemaître**. *Mois scientifique et industriel*, 3e année, n° 2, p. 154.

L'essai a porté sur une lampe Nernst marquée 40 watts et fonctionnant sous 110 volts.

Le photomètre employé est un photomètre Bunsen à tache d'huile réfléchie sur deux miroirs placés à 45° par rapport à l'écran.

La lampe était placée verticalement, position peut-être peu avantageuse, mais la faible durée de la lampe a empêché la continuation des essais entrepris : les lampes Nernst sont encore dans la période des essais et l'on en trouve peu dans le commerce ; elles se vendent encore 5 francs l'une.

Les essais photométriques sont continués d'ailleurs sur d'autres lampes. On sait que la lampe comporte un dispositif d'allumage qui est formé d'une spirale de platine enfermée dans une pâte de porcelaine.

Dès que le courant circule, les spires rougissent et le bâtonnet s'échauffe ; il devient conducteur, le courant le traverse, alors les spires sont mises hors circuit, le bâtonnet devient incandescent et les spires de platine s'éteignent.

L'allumage dure en moyenne 30 secondes, c'est là le gros reproche que l'on peut adresser à la lampe, et en outre l'intensité prise au début de l'allumage est considérable, 8/10 d'ampères, alors qu'il suffit de 3/10, 30 secondes plus tard ; il serait impossible de faire des allumages simultanés un peu importants sans amener une baisse de voltage sur les lignes.

Voici d'ailleurs le phénomène tel qu'il se présente de 5 en 5 secondes :

Début, intensité prise sous 110 volts			0,8	amp.
Au bout de	5	secondes	0,46	»
Après	10	»	0,43	»
»	15	»	0,43	»
»	20	»	0,43	»
»	25	»	0,505	»
»	30	»	0,31	allum.

On remarque qu'il y a augmentation d'intensité, puis baisse importante au moment où la lampe s'allume.

La lumière produit un effet rappelant celui du bec Auer pour la teinte.

La consommation, qui est la seule raison d'exister de cette lampe, n'est pas encore celle annoncée à grand renfort de réclame ; voici les chiffres obtenus, il est probable que l'avenir nous donnera mieux. Il y a déjà d'ailleurs un progrès sensible dant la durée des lampes, celle expérimentée a pu tenir une centaine d'heures.

1er essai à l'all.	11,9 b.	0,305 a.	110 v.	soit	2,82	w. p. b.
après 25 h.	11,3 »	0,347 »	110 »	»	3,38	»
» 50 »	10 »	0,334 »	110 »	»	3,68	»
» 75 »	9,65 »	0,323 »	110 »	»	3,69	»
» 100 »	9,45 »	0,32 »	110 »	»	3,72	»

à ce moment et quelques secondes après que le courant a été remis sur la lampe, le dispositif d'allumage cesse. La lampe est ainsi mise hors de service. Le dispositif d'allumage paraît être une pierre d'achoppement considérable pour l'instant, La durée de l'allumage empêche de profiter de l'avantage marqué qu'ont les lampes électriques d'être allumées ou éteintes instantanément. Il y a cependant dans la lampe actuelle une somme de travail, de recherches, considérable.

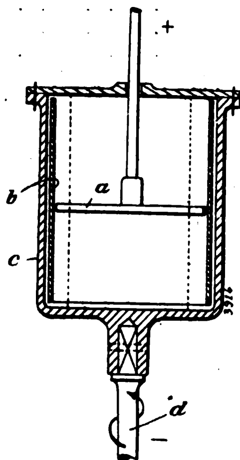
ÉLECTROCHIMIE

Appareil Neumann pour obtenir des métaux déposés en couches compactes ou spongieuses. Brevet anglais n° 15207, demandé le 24 juillet 1899 ; accepté le 21 juillet 1900.

Cet appareil se compose d'une turbine (fig. 1), contenant le liquide à électrolyser. Le tambour c qui est solidaire avec l'arbre vertical d, sert

de cathode ; l'anode est constituée par un disque *a*, dont le diamètre est légèrement inférieur à celui du tambour de façon à toujours être en contact avec l'électrolyte, même lorsque celui-ci est maintenu par la force centrifuge le long de la paroi, les lignes pointillées indiquent cette position du liquide.

Les objets à recouvrir d'un dépôt sont placés le long de la paroi en *b* ; l'anode et la cathode sont reliées à une source d'électricité ; et, en



faisant tourner le tambour plus ou moins rapidement, on obtient un dépôt métallique compact ou spongieux.

Cet appareil pourrait servir à produire le plomb spongieux des plaques d'accumulateurs ; en faisant tourner rapidement le tambour, on déposerait d'abord une couche très dure de plomb électrolytique, puis en diminuant peu à peu la vitesse de rotation on déposerait des couches de plomb de plus en plus spongieuses. Le dépôt ainsi obtenu serait très avantageux, d'après l'inventeur, dans le cas des plaques d'accumulateurs où l'on aurait des couches dures à l'intérieur, puis de plus en plus spongieuses vers la surface des plaques.

On peut aussi, sans se servir du courant, précipiter une solution saline par un métal ; réduire de l'acétate de plomb, par exemple, par du zinc et déposer par la force centrifuge des couches de plomb de duretés différentes, sur une plaque placée contre le tambour.

Le même appareil est applicable au dépôt d'autres métaux par électrolyse lorsqu'on se propose d'obtenir des couches de densités apparentes différentes. A. B.

DIVERS

Lois élémentaires de l'électrodynamique, par E. Wiechert. *Dr. Ann.* t. IV, p. 667-690, avril 1901.

Outre les deux formes d'équations proposées par Maxwell et par Hertz, on peut en établir une autre, qui se rapproche davantage de celle de Maxwell et qui se prête mieux, dans beaucoup de cas, à l'étude de l'électrodynamique.

Soit d'abord un mouvement vibratoire se propageant dans l'éther libre avec la vitesse V. L'équation différentielle qui définit un vecteur K est de la forme :

$$\frac{d^2K_v}{dt^2} = V^2 \frac{d^2K_v}{dx^2} + \frac{d^2K_v}{dy^2} + \frac{d^2K_v}{dz^2} \cdot \qquad (1)$$

En outre, les vibrations étant supposées transversales

$$\frac{dK_x}{dx} + \frac{dK_y}{dy} + \frac{dK_z}{dz} = 0. \qquad (2)$$

Un second vecteur H sera associé à K et défini par les équations :

$$\frac{dH_x}{dt} = V\left(\frac{dK_z}{dy} - \frac{dK_y}{dz}\right) \qquad (3)$$

$$\cdots\cdots\cdots\cdots$$

$$\frac{dH_x}{dx} + \frac{dH_y}{dy} + \frac{dH_z}{dz} = 0. \qquad (4)$$

De cet ensemble d'équations, on déduit encore :

$$\left.\begin{aligned} \frac{dK_x}{dt} &= -V\left(\frac{dH_z}{dy} - \frac{dH_y}{dz}\right) \\ \frac{dK_y}{dt} &= -V\left(\frac{dH_x}{dz} - \frac{dH_z}{dx}\right) \\ &\cdots\cdots\cdots\cdots \end{aligned}\right\} \qquad (5)$$

et

$$\frac{d^2H_v}{dt^2} = V^2\left(\frac{d^2H_v}{dx^2} + \frac{d^2H_v}{dy^2} + \frac{d^2H_v}{dz^2}\right) \cdot \qquad (6)$$

Le système (2), (3), (4), (5) est celui de Hertz. La troisième forme annoncée s'obtient en introduisant le potentiel vecteur de l'un des vecteurs K ou H, celui de H, par exemple, que désignera Γ. On posera donc :

$$H_x = -\left(\frac{d\Gamma_z}{dy} - \frac{d\Gamma_y}{dz}\right) \qquad (7)$$

Ces équations ne suffisent pas à déterminer complètement Γ : en particulier, la valeur de l'expression

$$\frac{d\Gamma_x}{dx} + \frac{d\Gamma_y}{dy} + \frac{d\Gamma_z}{dz}$$

reste arbitraire.

La condition (4) est vérifiée d'elle-même par cette valeur de H, et si on porte H_x... dans (3) on obtient :

$$-\frac{d}{dt}\left(\frac{d\Gamma_z}{dy}-\frac{d\Gamma_y}{dz}\right)=V\left(\frac{dK_z}{dy}-\frac{dK_y}{dz}\right)$$

Par conséquent le vecteur VK ne diffère du vecteur $\left(-\frac{d\Gamma_x}{dt}-\frac{d\Gamma_y}{dt}-\frac{d\Gamma_z}{dt}\right)$ que par un terme vecteur qui dérive d'un potentiel scalaire Φ. D'où :

$$K_\nu=-\frac{d\Phi}{d\nu}-\frac{1}{V}\frac{d\Gamma_\nu}{dt} \tag{8}$$

pour une direction quelconque ν.

L'équation (3) se trouve satisfaite et il reste seulement à vérifier (2) et (5). En posant :

$$\frac{d\Phi}{dt}+V\left(\frac{d\Gamma_x}{dx}+\frac{d\Gamma_y}{dy}+\frac{d\Gamma_z}{dz}\right)=0. \tag{9}$$

On a pour remplacer ces 2 dernières :

$$\frac{d^2\Phi}{dt^2}=V^2\left(\frac{d^2\Phi}{dx^2}+\frac{d^2\Phi}{dy^2}+\frac{d^2\Phi}{dz^2}\right) \tag{10}$$

$$\frac{d^2\Gamma_\nu}{dt^2}=V^2\left(\frac{d^2\Gamma_\nu}{dx^2}+\frac{d^2\Gamma_\nu}{dy^2}+\frac{d^2\Gamma_\nu}{dz^2}\right) \tag{11}$$

Le système formé par les équations (9), (10), (11) et les équations (7) et (8) représente une nouvelle forme donnée au système de Maxwell. Cette forme n'est pas symétrique, mais ce n'est là qu'un désavantage apparent. Les deux vecteurs qui représentent d'une part les phénomènes magnétiques, d'autre part les phénomènes électriques, n'ont pas non plus des propriétés symétriques. Il faut seulement regarder H comme le vecteur électrique et K comme le vecteur magnétique.

Dans toute région où les équations (2) et (3) sont vérifiées, les intégrales

$$\int d\sigma\, K_\nu=0 \qquad \int d\sigma\, H_\nu=0$$

étendues à tous les éléments $d\sigma$ d'une surface fermée sont nulles : ν est la direction de la normale à l'élément $d\sigma$. Si la surface considérée se trouve dans l'éther libre, mais renferme de la matière, ces intégrales ne sont plus forcément nulles. L'expérience nous apprend que seule la première prend des valeurs différentes de o. Ces valeurs sont d'ailleurs indépendantes du temps, ainsi qu'il résulte des équations (3) et (5) : elles sont les mêmes pour toutes les surfaces qui enveloppent la même quantité de matière (équations (2) et (4).

On posera :

$$\int d\sigma\, K_\nu=4\pi e.$$

La quantité e s'appellera la quantité totale d'électricité contenue dans la matière enveloppée.

Le principe de la conservation de l'électricité résulte immédiatement de l'équation (5).

La question qui se pose et qui est particulièrement délicate au point de vue de l'électrodynamique est de savoir à quoi correspond une variation de la charge. Il semble qu'on ne puisse guère considérer ce phénomène autrement que comme le déplacement de particules chargées. Déjà, en 1881, M Wiechert proposait d'adopter pour l'électricité une constitution analogue à celle de la matière, c'est-à-dire de lui attribuer des atomes définis et invariables.

Ces atomes ne sauraient être considérés comme *impondérables* au sens étroit du mot, puisque les expériences électrodynamiques décèlent l'existence d'une énergie cinétique de ces atomes, ce qui force à leur attribuer une masse mécanique. Et même en présence du rôle important que joue l'électricité dans la constitution de la matière, on est amené à les identifier. La masse atomique de l'électricité serait environ 1 : 1000, d'après les travaux de Zeeman et de Lorentz. Les recherches de M. Wiechert sur les rayons cathodiques l'ont conduit à une valeur du même ordre : 1 : 2000 à 1 : 4000.

Dans ces conditions, la charge de chaque particule matérielle serait une caractéristique de cette particule et ne varierait jamais.

Lorentz a le premier démontré que tous les phénomènes électrodynamiques pouvaient s'expliquer par les mouvements des particules électriques.

On retombe ainsi sur la vieille théorie des fluides électriques, avec une différence cependant. Les fluides ne sont plus considérés comme impondérables, mais au contraire comme matériels.

Lorsque le système renferme de la matière, les équations qui ont été données ci-dessus pour l'éther libre doivent être complétées. Il est facile de le faire si on admet que l'éther qui pénètre la matière a les mêmes propriétés que

l'éther libre. Les équations s'écriront alors :

$$\left.\begin{array}{l}\frac{dK_x}{dt} = -V\left(\frac{dH_z}{dy} - \frac{dH_y}{dz}\right) - 4\pi\gamma_x \\ \ldots\ldots\end{array}\right\} \quad (12)$$

$$\left.\begin{array}{l}\frac{dH_x}{dt} = V\left(\frac{dK_z}{dy} - \frac{dK_y}{dz}\right) \\ \ldots\ldots\end{array}\right\} \quad (13)$$

$$\frac{dK_x}{dx} + \frac{dK_y}{dy} + \frac{dK_z}{dz} = 4\pi\chi \quad (14)$$

$$\frac{dH_x}{dx} + \frac{dH_y}{dy} + \frac{dH_z}{dz} = 0 \quad (15)$$

où γ représente le courant électrique et χ la densité électrique. De même on aura :

$$-\frac{d\chi}{dt} = \frac{d\gamma_x}{dx} + \frac{d\gamma_y}{dy} + \frac{d\gamma_z}{dz} \cdot \quad (16)$$

Ce système d'équations permet d'exprimer toutes les lois expérimentales du champ électrique et du champ magnétique.

Sous la désignation de courant électrique γ, il faut comprendre différents phénomènes physiques : la convection, le courant de conduction, la polarisation diélectrique et l'aimantation.

Il reste encore à exprimer l'action de l'éther sur la matière. Lorentz a montré qu'il suffit de faire les deux hypothèses suivantes :

Une particule électrique possédant la charge e est, indépendamment de son mouvement, soumise par suite de l'électrisation de l'éther à une force mécanique eK parallèle au vecteur électrique K.

Une particule électrique possédant la charge e, animée d'une vitesse v, est soumise par suite de l'aimantation de l'éther à une force mécanique $\frac{evH}{V}$ sin (v, H), normale au plan (v, H).

Lois élémentaires de l'électrodynamique. — L'un des caractères essentiels de la théorie présente, c'est qu'une perturbation électrodynamique se propage dans l'éther avec une vitesse égale à celle de la lumière. Il doit donc être possible de regarder tout phénomène électrique ou magnétique en un point quelconque comme résultant de phénomènes qui se sont produits en d'autres points de l'espace, à une époque antérieure, correspondant à cette vitesse de propagation. Comme on a admis que la source de tous les ébranlements de l'éther se trouvait dans les particules électriques, il y a lieu de supposer que les phénomènes essentiels se limitent à ces particules, comme l'admettaient les anciennes théories.

Pour éviter d'avoir à distinguer les vecteurs K et H on effectue les calculs sur les fonctions auxiliaires Φ et Γ. Ces fonctions vérifient les équations.

Beltrami a fait usage du lemme suivant. Soit

$$\frac{d^2\Phi}{dt^2} = V^2\left(\frac{d^2\Phi}{dx^2} + \frac{d^2\Phi}{dy^2} + \frac{d^2\Phi}{dz^2}\right) + 4\pi V^2\chi \quad (17)$$

$$\frac{d^2\Gamma_v}{dt^2} = V^2\left(\frac{d^2\Gamma_v}{dx^2} + \frac{d^2\Gamma_v}{dy^2} + \frac{d^2\Gamma_v}{dz^2}\right) + 4\pi V^2 \frac{\gamma}{V}$$

U une fonction des coordonnées x, y, z et r, on a en tout point de l'espace :

$$4\pi U_0 = \int d\sigma\left[\frac{d}{dr}\left(\frac{U}{r}\right)\cos(n,r) - \frac{1}{r}\frac{dU}{dn}\right] + \int \frac{d\omega}{r}\left[\frac{d^2U}{dr^2} - \left(\frac{d^2U}{dx^2} + \frac{d^2U}{dy^2} + \frac{d^2U}{dz^2}\right)\right].$$

Dans cette équation, r représente la distance du point considéré O aux éléments $d\sigma$ ou $d\omega$; la première intégrale est étendue à une surface fermée enveloppant le point O, la seconde au volume limité par cette surface : n est la normale intérieure à la surface. En différentiant par rapport à r, on doit regarder x, y, z comme constants, et en différentiant par rapport à x, y, z, regarder r comme constant. Si on suppose que la surface d'intégration s'éloigne à l'infini, il reste seulement :

$$4\pi U_0 = \int \frac{d\omega}{r}\left[\frac{d^2U}{dr^2} - \left(\frac{d^2U}{dx^2} + \frac{d^2U}{dy^2} + \frac{d^2U}{dz^2}\right)\right].$$

Si on pose $r = \frac{t - t_0}{V}$, où t_0 est constant et t variable, U devient une fonction de x, y, z, t et l'équation ci-dessus prend la forme :

$$4\pi(U_0)_{t=t_0} = \int \frac{d\omega}{r}\left[\frac{1}{V^2}\frac{d^2U}{dt^2} - \left(\frac{d^2U}{dx^2} + \frac{d^2U}{dy^2} + \frac{d^2U}{dz^2}\right)\right]_{t=t_0 - \frac{r}{V}}.$$

En appliquant ce lemme aux fonctions Φ et Γ, et tenant compte des équations (17) on trouve :

$$\left.\begin{array}{l}\Phi_{t=t_0} = \int \frac{d\omega}{r}\chi_{t=t_0 - \frac{r}{V}} \\ (\Gamma_v)_{t=t_0} = \int \frac{d\omega}{r}\left(\frac{\gamma_v}{V}\right)_{t=t_0 - \frac{r}{V}}\end{array}\right\} \quad (18)$$

En langage ordinaire, ces équations signifient que :

La valeur de Φ ou de Γ_v pour un point quelconque O et à une époque quelconque t_0, s'ob-

tient en intégrant les éléments $\frac{d\omega}{r}\chi$ et $\frac{d\omega}{r}\frac{\gamma_v}{V}$ pour tous les éléments du volume $d\omega$. La distance r représente la distance du point O à l'élément $d\omega$, et on doit choisir pour χ et pour γ_v les valeurs que ces fonctions avaient à une époque antérieure, telle qu'une perturbation partie de l'élément à cette époque arrivât précisément en O à l'instant $t = t_0$.

Les équations (18) jointes à celles qui définissent K et H en fonction de Φ et de Γ et à celle qui exprime le principe de la conservation de l'électricité, forment un système représentant le champ magnétique dans lequel, comme dans les anciennes théories, les actions du milieu sont remplacées par des actions à distance.

Lois élémentaires relatives aux électrons. — Il faut encore dans cette théorie ramener, à l'exemple de Weber, l'action électrodynamique de la matière à l'action élémentaire des électrons. On pourrait penser à prendre pour un électron dont la charge est $\varepsilon = \int \gamma d\omega$ et la vitesse v simplement :

$$\Phi_{t=t_0} = \frac{\varepsilon}{r_{t=t_0-\frac{r}{V}}} \quad (\Gamma_v)_{t=t_0} = \varepsilon\left(\frac{1}{r}\frac{U_v}{V}\right)_{t=t_0-\frac{r}{V}}$$

Cette forme avait été proposée pour Φ, déjà par Riemann ; mais on est amené ainsi à des contradictions, parce que les formules qui ont été établies ne peuvent s'appliquer à des charges ponctuelles, mais seulement à une distribution électrique continue, ou tout au moins à des corps de dimensions infiniment petites sans être nulles.

On admettra que ce corps ou électron est tout à fait symétrique et n'effectue aucune rotation. Dans le cas contraire, on prendrait des valeurs moyennes des paramètres. On est conduit aux expressions suivantes :

$$\Phi_{t=t_0} = \varepsilon\left[\frac{1}{r\left(1+\frac{v}{V}\cos(v,r)\right)}\right]_{t=t_0-\frac{r}{V}}$$

$$(\Gamma_v)_{t=t_0} = \varepsilon\,\frac{\frac{v_v}{V}}{r\left(1+\frac{v}{V}\cos(v,r)\right)}_{t=t_0-\frac{r}{V}}.$$

Le facteur $\left[1+\frac{v}{V}\cos(v,r)\right]$ doit être pris en valeur absolue. Tant que v est $< V$, ce facteur ne peut être que positif; si $v > V$, il peut prendre aussi des valeurs négatives, mais il faut écrire alors $-\left[1+\frac{v}{V}\cos(v_1 r)\right]$.

Si le champ renferme un nombre quelconque d'électrons, il faut additionner les valeurs de Φ et de Γ correspondant à chacun d'eux. Le champ électromagnétique sera représenté par les équations

$$K_v = -\frac{d\Phi}{dv} - \frac{1}{V}\frac{d\Gamma_v}{dt},$$

$$H_x = -\left(\frac{d\Gamma_z}{dy} - \frac{d\Gamma_y}{dz}\right).$$

Ces équations permettent de retrouver les lois de l'électrodynamique.

Soient, par exemple, un système de courants linéaires dans des conducteurs en repos et un point O. Du point O comme centre, on décrit deux sphères, avec les rayons r et $r - dr$; ces sphères découpent sur l'un des conducteurs un élément linéaire $d\lambda$. Par suite, il faut dans les équations ci-dessus faire :

$$t = t_0 - \frac{r}{V} \quad t + dt = t_0 - \frac{r-dr}{V}$$

ou

$$dt = \frac{dr}{V}.$$

Si nous ne supposons pas que tous les électrons aient la même vitesse, supposition qui ne serait pas légitime, nous considèrerons d'abord tous ceux dont la vitesse est dirigée parallèlement à $d\lambda$ et comprise entre v et $v + dv$. Soit $d\chi$ la densité de leur charge par unité de longueur : $d\chi\, d\lambda$ sera la charge de l'élément $d\lambda$. Un électron qui à l'époque t se trouvait sur la surface de la sphère r, à l'extrémité de l'élément $d\lambda$, est à l'époque $t + dt$ avancé de :

$$vdt = \frac{v}{V}dr = \frac{v}{V}\cos(v,r)d\lambda.$$

Il faut donc étendre l'intégration aux électrons qui se trouvent non seulement sur l'élément $d\lambda$, mais sur un élément $d\lambda + vdt$.

$$d\lambda + vdt = d\lambda\left[1+\frac{v}{V}\cos(v,r)\right].$$

Le terme de Φ correspondant à $d\lambda$ est donc ;

$$d\Phi = \int d\chi\,\frac{d\lambda\left[1+\frac{v}{V}\cos(v,r)\right]}{r\left[1+\frac{v}{V}\cos(v,r)\right]} = \frac{d\lambda\int d\chi}{r} = \frac{de}{r}$$

Par conséquent, dans un système de courants

linéaires en régime permanent, Φ satisfait à l'équation de l'électrostatique $\Phi = \int \frac{de}{r}$.

Par des considérations analogues on trouve l'équation

$$\Gamma_v = \int \frac{i}{V} \frac{d\lambda \cos(\lambda, r)}{r}$$

pour représenter la distribution de la force magnétique.

Si les courants ne subissent que des variations lentes (courants quasi-stationnaires) ces formules sont encore valables, au moins approximativement, pour Φ et pour Γ. La relation :

$$K_v = -\frac{d\Phi}{dv} - \frac{1}{V}\frac{d\Gamma_v}{dt}$$

nous donne la force électromotrice induite $-\frac{1}{V}\frac{d\Gamma_v}{dt}$.

Si les conducteurs ont leurs trois dimensions du même ordre de grandeur, Φ satisfait encore à la même équation, mais on a pour Γ

$$\left(\Gamma_v\right)_{t=t_0} = \int \frac{d\omega}{r}\left(\frac{\gamma_v}{V}\right)_{t=t_0-\frac{r}{V}}.$$

Si un électron est animé d'une vitesse v parallèle à l'axe des z, on trouve :

$$\Phi = \frac{\varepsilon}{\sqrt{(x^2+y^2)\left(1-\frac{v^2}{V^2}\right)+z^2}}$$

$$\Gamma_v = \frac{v_v}{V} \frac{\varepsilon}{\sqrt{(x^2+y^2)\left(1-\frac{v^2}{V^2}\right)+z^2}}$$

rapporté à une origine mobile, qui est la position qu'occupe au temps $t = t_0$ le point pour lequel on veut déterminer Φ et Γ.

Pour passer à un système d'axes fixes, il faut remplacer $\frac{d\Gamma_v}{dt}$ par $-V\frac{d\Gamma_v}{dz}$.

Au point de vue de l'optique, un cas présente un intérêt particulier : c'est celui d'un électron effectuant des vibrations sinusoïdales.

Supposons ces vibrations linéaires, parallèles à l'axe des z, l'origine étant la position d'équilibre de l'électron.

$$\zeta = Z \sin 2\pi \frac{t}{T}.$$

La longueur d'onde de la lumière correspondante est $\lambda = VT$, la distance du point O à l'origine est ρ.

En se bornant au cas où Z est infiniment petit vis à vis de λ et de ρ, on obtient pour les expressions de Φ et de Γ :

$$\Phi = \frac{\varepsilon}{\rho} + \frac{\varepsilon Z}{\rho}\frac{z}{\rho}\left[\frac{1}{\rho}\sin 2\pi\left(\frac{t}{T}-\frac{\rho}{\lambda}\right) + \frac{2\pi}{\lambda}\cos 2\pi\left(\frac{t}{T}-\frac{\rho}{\lambda}\right)\right]$$

$$\Gamma_x = 0 \quad \Gamma_y = 0$$

$$\Gamma_z = \frac{\varepsilon Z}{\rho}\frac{2\pi}{\lambda}\cos 2\pi\left(\frac{t}{T}-\frac{\rho}{\lambda}\right)$$

Ces équations sont les équations bien connues représentant l'émission d'un point lumineux.

D'après le théorème de Poynting, appliqué à une sphère de très grand rayon, on a pour la perte d'énergie $-dE$ du système pendant le temps dt :

$$-\frac{dE}{dt} = \frac{e^2Z^2}{3}\left(\frac{2\pi}{\lambda}\right)^4 V.$$

On peut aussi calculer l'amortissement des oscillations qu'effectue un électron sous l'action d'une force centrale proportionnelle à la distance, en supposant cet amortissement petit. Soit m la masse, $k\zeta$ la force :

$$m\frac{d^2\zeta}{dt^2} = -k\zeta;$$

d'où

$$\frac{k}{m} = \left(\frac{2\pi}{T}\right)^2$$

$$E = \frac{1}{2}kZ^2 = \frac{1}{2}\left(\frac{2\pi}{T}\right)^2 Z^2 m.$$

Le temps nécessaire pour que l'amplitude tombe à $\frac{1}{e}$ de sa valeur primitive est ainsi :

$$\tau = 2\frac{E}{\frac{dE}{dt}} = \frac{3}{4\pi^2}\frac{m}{\varepsilon}\frac{\lambda^2 V}{\varepsilon}$$

le chemin parcouru par la lumière pendant ce temps τ est :

$$l = \tau V = \frac{3}{4\pi^2}\frac{m}{\varepsilon}\frac{V^2\lambda^2}{\varepsilon}.$$

Dans le cas d'une ligne spectrale, suivant les valeurs qu'on attribue à ε, on trouve

$$l = 3\,m. \quad \text{ou} \quad l = 30\,m$$

Or, la plus grande différence de marche qu'on peut employer dans les expériences d'interférence ne dépasse guère 1/2 m. Il faut en conclure que d'autres circonstances interviennent pour diminuer l'amplitude des vibrations lumineuses.

M. LAMOTTE.

Le Gérant : C. NAUD.

Tome XXIX. Samedi 16 Novembre 1901. 8e Année. — N° 46.

L'Éclairage Électrique

REVUE HEBDOMADAIRE DES TRANSFORMATIONS

Électriques — Mécaniques — Thermiques

DE

L'ÉNERGIE

SUR LA STABILITÉ DE LA MARCHE DES COMMUTATRICES

Il arrive, quelquefois, que le voltage des courants fournis par une commutatrice oscille autour de sa valeur normale et que des étincelles jaillissent périodiquement sur son collecteur.

Dans certains cas, ce phénomène doit être attribué au défaut de régularité du mouvement des machines à vapeur pendant un tour. On peut alors s'opposer à sa production, en disposant des circuits amortisseurs dans les épanouissements polaires de la commutatrice.

Il peut tenir aussi aux variations de vitesse des machines à vapeur dues aux oscillations de leurs régulateurs. Il convient alors d'amortir plus fortement ces dernières, en rendant plus énergique l'action des freins à huile des régulateurs.

Mais on voit des mouvements pendulaires se superposer au mouvement d'une commutatrice, alors qu'elle transforme en courants alternatifs un courant continu fourni par une batterie d'accumulateurs et que ces courants alternatifs sont absorbés par des rhéostats.

Lorsque la commutatrice transforme des courants alternatifs en courant continu, on constate aussi l'existence de mouvements pendulaires dont la période n'a aucun rapport avec celle des irrégularités du mouvement des machines à vapeur et dont l'amplitude va en croissant, au fur et à mesure que la charge de la commutatrice augmente.

Nous allons essayer, dans ce qui suit, d'expliquer comment ces mouvements pendulaires se produisent et d'indiquer les moyens de les en empêcher.

Premier cas. — La commutatrice engendre des courants alternatifs aux dépens de l'énergie fournie par un courant continu débité sous voltage constant.

Nous avons observé le phénomène suivant :

Une commutatrice A était branchée sur une batterie d'accumulateurs B (voir fig. 1) ; son excitation était prise aussi sur cette batterie.

La commutatrice produisait des courants alternatifs triphasés dont la tension était relevée par un premier transformateur C, puis abaissée par un second transformateur D.

Les courants à basse tension fournis par le second transformateur étaient absorbés par trois rhéostats E_1, E_2, E_3, assujettis à avoir toujours des résistances égales entre elles.

Lorsque l'on augmentait graduellement la charge de la commutatrice, en diminuant les résistances des rhéostats E_1, E_2, E_3, il arrivait un moment où sa vitesse de rotation cessait d'être constante et se mettait à varier entre des limites d'autant plus écartées que l'on augmentait davantage la charge de la machine.

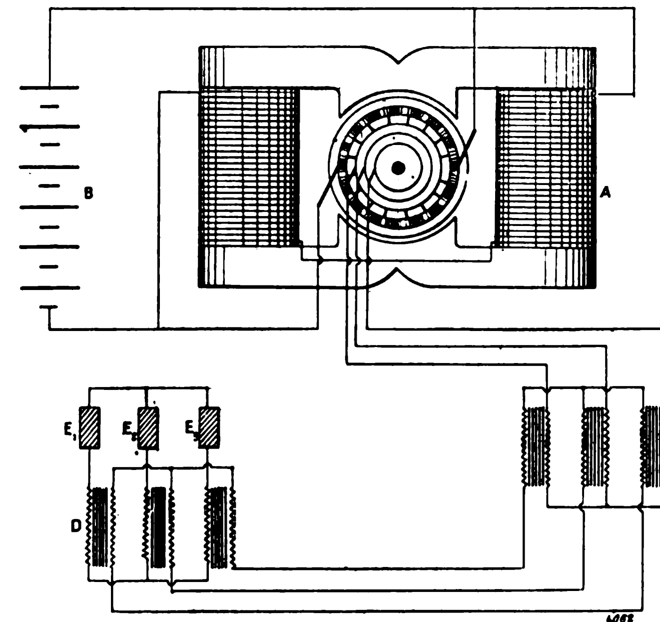


Fig. 1.

Ce phénomène s'explique de la manière suivante :

La commutatrice était alimentée par un courant continu débité sous voltage constant. Sa vitesse de rotation devait augmenter, lorsque l'intensité de son champ magnétique diminuait, et réciproquement.

Cette machine fournissait, d'autre part, des courants déwattés au réseau à courants alternatifs qu'elle desservait ; ces courants, en traversant son armature, tendaient à affaiblir son champ d'autant plus qu'ils étaient plus intenses.

Or, il est facile de démontrer (voir note I) que l'intensité du courant déwatté absorbé par chacun des circuits primaires du transformateur C devait diminuer, lorsque la vitesse de la commutatrice augmentait et réciproquement, tant que la charge de la commutatrice était inférieure à une certaine valeur que nous appellerons *charge limite*. Au contraire, lorsque la charge de la commutatrice lui devenait supérieure, l'intensité du courant déwatté, absorbé par chacun des circuits primaires du transformateur C, devait augmenter avec la vitesse de la commutatrice et réciproquement.

Dans ces conditions :

Tant que la charge de la commutatrice était inférieure à la *charge limite*, tout accroissement accidentel de vitesse amenait une diminution de l'intensité des courants déwattés qu'elle fournissait. Son champ magnétique se trouvait renforcé et cela tendait à la ralentir. Réciproquement, si elle subissait un ralentissement accidentel, son champ se trouvait affaibli et cela tendait à l'accélérer. Sa vitesse était ainsi maintenue automatiquement constante.

Au contraire, lorsque la charge de la commutatrice était supérieure à sa *charge limite*, à tout accroissement accidentel de vitesse correspondait un accroissement de l'intensité du courant déwatté absorbé par chacun des circuits primaires du transformateur C. Le champ de la commutatrice était donc affaibli et elle tournait de plus en plus vite, comme l'eût fait

une machine à courant continu, dont on eût graduellement diminué l'excitation, jusqu'à ce que l'intensité du courant débité par les accumulateurs se trouvât limitée par la résistance des circuits qu'il parcourait.

Mais l'armature de la commutatrice était alors dans un état d'équilibre dynamique instable et sa vitesse ne devait pas tarder à décroître, jusqu'à ce que l'intensité des courants déwattés recommençât à augmenter. Ce résultat était naturellement obtenu lorsque leur fréquence se trouvait suffisamment réduite [voir la note I ci-dessous (1)].

Il est évident qu'aucun régime ne pouvait s'établir et que l'on devait observer les variations de vitesse signalées plus haut.

Au point de vue pratique, pour que l'on n'ait pas à se préoccuper de ces variations de

---

(1) Note I. — Nous désignerons par :

l le coefficient de self-induction de chacun des circuits primaires du transformateur C, dont nous supposerons nulle la résistance,

ρ et λ la résistance effective et le coefficient de self-induction apparent de chacun des circuits fermés sur eux-mêmes ou aboutissant à deux points neutres, comprenant l'un des circuits secondaires du tronsformateur C,

m le coefficient d'induction mutuelle d'un circuit primaire du transformateur C et du circuit secondaire correspondant,

R la résistance effective d'un des circuits primaires du transformateur C,

L son coefficient de self-induction apparent,

$\cos\varphi = \dfrac{R}{\sqrt{R^2+\omega^2L^2}}$, son facteur de puissance,

$f = 1 - \dfrac{m^2}{\lambda l}$ le coefficient de fuites général du système, comprenant les fuites des transformateurs, des conducteurs et des appareils récepteurs,

b l'intensité efficace du courant déwatté absorbé par chacun des circuits primaires du transformateur C,

$\dfrac{\omega}{2\pi}$ la fréquence des courants engendrés par la commutatrice,

h le voltage efficace supporté par chacun des circuits primaires.

Nous allons chercher l'expression de la dérivée $\dfrac{db}{d\omega}$.

Nous avons :

$$b = \frac{\omega L h}{R^2+\omega^2L^2}.$$

Mais, d'après les formules de M. Joubert :

$$R = \frac{\omega^2m^2}{\rho^2+\omega^2\lambda^2}\,\rho, \qquad L = l - \frac{\omega^2m^2}{\rho^2+\omega^2\lambda^2}\,\lambda,$$

ou

$$R = \frac{\omega^2\lambda l\,(1-f)}{\rho^2+\omega^2\lambda^2}\,\rho, \qquad L = l - \frac{\omega^2\lambda l\,(1-f)}{\rho^2+\omega^2\lambda^2}\,\lambda;$$

d'où

$$R^2+\omega^2L^2 = \omega^2l^2\,\frac{\rho^2+\omega^2\lambda^2f^2}{\rho^2+\omega^2\lambda^2}.$$

Nous avons d'ailleurs :

$$\omega L = \omega l\,\frac{\rho^2+\omega^2\lambda^2 f}{\rho^2+\omega^2\lambda^2}$$

d'où

$$b = \frac{\omega L h}{R^2+\omega^2L^2} = \frac{h}{\omega l}\,\frac{\rho^2+\omega^2\lambda^2 f}{\rho^2+\omega^2\lambda^2f^2}$$

Nous en tirons :

$$\frac{db}{d\omega} = \frac{h}{l}\,\frac{2\omega^2\lambda^2f[\rho^2+\omega^2\lambda^2f^2] - [\rho^2+\omega^2\lambda^2f]\,[\rho^2+3\omega^2\lambda^2f^2]}{\omega^2\,[\rho^2+\omega^2\lambda^2f^2]^2}.$$

Cette dérivée s'annule lorsque l'on a :

$$\rho^4+\rho^2\omega^2\lambda^2\,(3f-1)\,f+\omega^4\lambda^4f^3 = 0.$$

vitesse, il suffit que la charge limite, à partir de laquelle elles commencent à se manifester, soit supérieure à la charge maxima, pour laquelle est construite la commutatrice.

Or les formules établies dans la note 1 montrent que l'on peut augmenter cette charge limite :

1° En diminuant la fréquence des courants fournis par la commutatrice. Nous l'avons vérifié en augmentant son excitation et diminuant ainsi sa vitesse.

2° Si la fréquence de ces courants doit demeurer constante, en diminuant les coefficients d'induction des transformateurs. Nous l'avons vérifié en introduisant des feuilles de carton dans leurs joints magnétiques. La vitesse de rotation de la commutatrice tendait alors à augmenter, mais nous la ramenions à sa valeur normale, en renforçant son excitation.

Cette équation, résolue par rapport à ρ, admet deux racines :

$$\rho_1 = \omega\lambda \sqrt{f \frac{1 - 3f + \sqrt{(1-3f)^2 - 4f}}{2}}$$

$$\rho_2 = \omega\lambda \sqrt{f \frac{1 - 3f - \sqrt{(1-3f)^2 - 4f}}{2}}.$$

Pour que ces racines soient réelles, il faut avoir :

$$(1 - 3f)^2 - 4f > 0$$

ou

$$9f^2 - 10f + 1 > 0$$

Cette quantité est négative, tant que f est compris entre 1 et $\frac{1}{9}$. Elle est positive lorsque f est compris entre $\frac{1}{9}$ et 0.

Nous ne considérons pas le cas où f est plus grand que $\frac{1}{9}$. Voici pourquoi.

On a

$$\cos\varphi = \frac{R}{\sqrt{R^2 + \omega^2 L^2}} = \frac{\omega\lambda(1-f)\rho}{\sqrt{\rho^2 + \omega^2\lambda^2}\sqrt{\rho^2 + \omega^2\lambda^2 f^2}}$$

On a aussi

$$\omega\lambda < \sqrt{\rho^2 + \omega^2\lambda^2} \qquad \rho < \sqrt{\rho^2 + \omega^2\lambda^2 f^2}$$

d'où

$$\cos\varphi < 1 - f.$$

Si l'on a $f > \frac{1}{9}$, on doit avoir $\cos\varphi < \frac{8}{9}$ ou $\cos\varphi < 0{,}888$.

Cette condition n'était pas remplie dans l'expérience que nous avons rapportée, et il nous parait certain que l'on ne se servira jamais d'une commutatrice pour fournir de courants alternatifs un réseau ayant un $\cos\varphi$ inférieur à 0,888, car il y aurait tout intérêt à lui substituer un alternateur.

Considérons le cas où f est compris entre 0 et $\frac{1}{9}$. Les deux racines ρ_1 et ρ_2 sont alors réelles.

La dérivée $\frac{db}{d\omega}$ est négative, lorsque la résistance ρ est très grande, soit lorsque la charge de la commutatrice est nulle.

Elle change de signe et devient positive, lorsque l'on a $\rho = \rho_1$.

Elle redevient négative lorsque la résistance ρ devient plus petite que ρ_2.

Mais si la résistance ρ variait entre les valeurs ρ_1 et ρ_2, l'intensité des courants déwattés fournis par la commutatrice irait en augmentant avec sa vitesse et réciproquement. Comme nous le montrons, d'autre part, les mouvements pendulaires, que nous voulons éviter, se manifesteraient.

Il ne faut donc pas donner à la commutatrice une charge supérieure à celle qui correspond à la valeur ρ_1 de la résistance ρ. Il convient, dès lors, de rendre la résistance ρ_1 aussi petite que possible.

On y arrivera en diminuant les quantités ω, λ et f, comme on le voit en considérant l'expression de la résistance ρ_1.

3° En réduisant, autant que possible, les fuites magnétiques des divers circuits faisant partie du réseau à courants alternatifs. Nous l'avons vérifié en répétant la même expérience avec des transformateurs ayant des coefficients de fuites plus ou moins grands.

Cette dernière observation montre qu'il ne faut employer une commutatrice, comme génératrice de courants alternatifs, que si les appareils récepteurs, que doivent alimenter ces courants, n'absorbent que très peu de courants déwattés ou s'ils sont capables, au contraire, d'en fournir au réseau

En particulier, si on se sert comme récepteur d'une seconde commutatrice reproduisant, à l'arrivée, un courant continu, on peut constituer un système de transport d'énergie susceptible de fonctionner dans les meilleures conditions, d'autant plus que la fréquence des courants alternatifs engendrés peut être rendue plus faible que si ces courants devaient être utilisés directement.

Il conviendra, dans tous les cas, si l'on veut que la vitesse des machines et la fréquence des courants transmis demeure constante, quelle que soit la charge du système, de munir les inducteurs de la commutatrice de départ d'un circuit monté en série avec le circuit fermé sur les balais de son armature, de manière que l'excitation de cette machine aille en augmentant avec sa charge.

Deuxième cas. — La commutatrice engendre un courant continu aux dépens de l'énergie qui lui est fournie par des courants alternatifs.

Nous avons observé le phénomène suivant :

Une commutatrice, dont le transformateur était directement branché sur un réseau de distribution et qui servait à charger des accumulateurs, fonctionnait parfaitement en pleine charge.

On monta en série, avec les circuits primaires de son transformateur, ceux d'un survolteur à courants alternatifs, pour faire varier le voltage du courant continu. Le coefficient de fuites magnétiques de ce survolteur était très élevé.

La commutatrice devint alors le siège de mouvements pendulaires à longue période, dès que sa charge atteignit la moitié de celle que l'on avait facilement atteinte sans le survolteur.

On peut expliquer ce phénomène de la manière suivante :

On démontre [voir la note II (1)] que si le courant d'excitation d'une commutatrice est fourni par des accumulateurs, si ses balais sont calés suivant la véritable ligne neutre et si les

(1) NOTE II. — Considérons une commutatrice bipolaire (voir figure 2). Son armature tourne, dans le sens de la flèche *f*, entre les pôles + et — de son inducteur.

Soit *ab* la ligne des balais et *cd* celle des pôles.

Nous représentons par un vecteur OI, dirigé suivant la ligne *ab* et de longueur I, la force magnétisante développée par le courant continu qui traverse l'armature.

Nous représentons par un vecteur OJ, dirigé suivant la ligne *cd* et de longueur J, la force magnétisante développée par l'inducteur de la commutatrice.

Nous représentons par un vecteur OΦ, de longueur Φ, la résultante des forces magnétisantes exercées sur l'armature. Cette résultante est proportionnelle à la valeur maxima du voltage des courants alternatifs fournis par le réseau, mesuré aux bornes de la commutatrice.

Nous représentons par Oψ une direction perpendiculaire à la direction OΦ. La somme des forces magnétisantes développées suivant cette direction doit être nulle. Le diamètre passant par cette direction est la véritable ligne neutre de la machine.

Les angles étant mesurés dans le sens de la flèche *f*, nous appelons Ω et ω les angles des directions OI et OJ avec la direction OΦ, *i* l'angle des directions oψ et OI et *j* celui des directions OΦ et OJ.

Nous avons :

$$i = \frac{3\pi}{2} - \Omega \qquad j = 2\pi - \omega.$$

circuits à courants alternatifs, qui aboutissent d'une part aux bagues de la commutatrice et de l'autre aux conducteurs d'un réseau à voltage constant, ont un coefficient de self-induction l, tout mouvement d'avance de cette machine détermine d'abord une élévation du voltage

---

La force électromotrice e développée entre les balais, dans la commutatrice, est proportionnelle au produit — Φ sin Ω. Donc, en désignant par K une constante, nous pouvons poser :

$$e = -K\Phi \sin \Omega = -K\Phi \sin\left(\frac{3\pi}{2} - i\right) = K\Phi \cos i.$$

Supposons que la commutatrice soit fermée sur une batterie d'accumulateurs développant une force contre-électromotrice constante h, la force magnétisante I sera proportionnelle à la différence $e - h$.

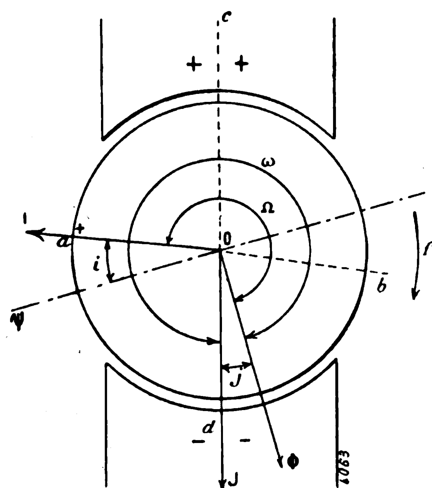


Fig. 2.

Nous pouvons poser, à la condition de choisir convenablement l'échelle de la figure (2) :

$$I = K\Phi \cos i - h.$$

L'intensité du courant d'excitation est proportionnelle au voltage h. Nous pouvons donc écrire, en désignant par K' une nouvelle constante :

$$J = K'h.$$

Appelons maintenant :

X la somme des projections des vecteurs OI et OJ suivant la direction Oψ.

Y la somme des projections des mêmes vecteurs suivant la direction OΦ.

Nous avons :

$$X = -I \sin \Omega - J \sin \omega = I \cos i + J \sin j,$$
$$Y = -I \cos \Omega + J \sin \omega = -I \sin i + J \cos j.$$

Tant que le calage des balais demeure constant, les angles i et j ne peuvent différer que d'un angle constant γ. Posons $j = i + \gamma$. Il vient alors :

$$X = I \cos i + J \sin (i + \gamma),$$
$$Y = -I \sin i + J \cos (i + \gamma),$$

ou, en remplaçant les quantités I et J par leurs valeurs :

$$X = (K\Phi \cos i - h) \cos i + K'h \sin (i + \gamma),$$
$$Y = -(K\Phi \cos i - h) \sin i + K'h \cos (i + \gamma).$$

Les courants wattés pris au réseau par la commutatrice développent une force magnétisante A_1 proportionnelle à leur intensité maxima et dirigée suivant la direction Oψ. La somme des forces magnétisantes développées suivant cette direction devant être nulle, nous avons la relation :

$$A_1 + X = 0.$$

Les courants déwattés pris au réseau par la commutatrice développent une force magnétisante B_1 proportionnelle à leur intensité maxima et dirigée suivant la direction OΦ. La somme des forces magnétisantes développées, suivant cette direction, doit être proportionnelle à la valeur maxima H_1 du voltage maintenu entre les bornes de la machine. Nous pouvons donc poser, en désignant par m une constante :

$$B_1 + Y = mH_1.$$

Supposons que l'on introduise, dans chacun des fils qui relient l'une des bornes de la commutatrice au conducteur correspondant du réseau, une bobine ayant un coefficient de self-induction l, mais une résistance négligeable.

Si nous appelons E le voltage de l'extrémité d'un des conducteurs du réseau, $H = H_1 \sin 2\pi\alpha t$ le voltage de la borne de la commutatrice qui lui est reliée, A et B les intensités des courants watté et déwatté qui pénètrent dans la commutatrice par cette borne, nous avons :

$$E = H + l\frac{dA}{dt} + l\frac{dB}{dt}.$$

à ses bornes proportionnelle au coefficient de self-induction l et très sensiblement proportionnelle à l'intensité du courant continu fourni.

Nous pouvons poser, en désignant par a et b deux constantes positives :

$$A = a \sin 2\pi\alpha t, \qquad B = -b \cos 2\pi\alpha t;$$

d'où

$$E = (H_1 + 2\pi\alpha l b) \sin 2\pi\alpha t + 2\pi\alpha l a \cos 2\pi\alpha t.$$

La valeur maxima E_1 du voltage E est :

$$E_1 = \sqrt{(H_1 + 2\pi\alpha l b)^2 + 4\pi^2\alpha^2 l^2 a^2}.$$

Mais les quantités a et b étant proportionnelles aux forces magnétisantes A_1 et B_1, nous pouvons écrire, en désignant par λ une nouvelle constante :

$$E_1 = \sqrt{(H_1 + 2\pi\alpha\lambda B_1)^2 + 4\pi^2\alpha^2\lambda^2 A_1}.$$

Nous allons supposer maintenant que la force électromotrice maxima E_1 demeure constante et chercher l'expression du voltage H_1 en fonction des quantités E_1, h, i et γ.

Nous avons :

$$A_1 = -X, \qquad B_1 = mH_1 - Y;$$

d'où

$$E_1^2 = [H_1(1 + 2\pi\alpha\lambda m) - 2\pi\alpha\lambda Y]^2 + 4\pi^2\alpha^2\lambda^2 X^2;$$

d'où

$$H_1(1 + 2\pi\alpha\lambda m) = 2\pi\alpha\lambda Y + \sqrt{E_1^2 - 2\pi^2\alpha^2\lambda^2 X^2}.$$

Remplaçons dans cette équation, les quantités X et Y par leurs expressions trouvées ci-dessus, il vient :

$$H_1(1 + 2\pi\alpha\lambda m) = 2\pi\alpha\lambda\,[-(K\Phi \cos i - h)\sin i + K'h \cos(i + \gamma)] + \sqrt{E_1^2 - 4\pi^2\alpha^2\lambda^2\,[(K\Phi \cos i - h)\cos i + K'h \sin(i+\gamma)]^2}.$$

Nous en tirons :

$$(1 + 2\pi\alpha\lambda m)\frac{dH_1}{di} = -2\pi\alpha\lambda[K\Phi \cos 2i - h \cos i + K'h \sin(i+\gamma)] - \frac{4\pi^2\alpha^2\lambda^2\,[(K\Phi\cos i - h)\cos i + K'h\sin(i+\gamma)]\,[-K\Phi \sin 2i + h \sin i + K'h \cos(i+\gamma)]}{\sqrt{E_1^2 - 4\pi^2\alpha^2\lambda^2\,[(K\Phi\cos i - h)\cos i + K'h\sin(i+\gamma)]^2}}.$$

Pour $i = 0$, on a :

$$(1 + 2\pi\alpha\lambda m)\frac{dH_1}{di} = -2\pi\alpha\lambda\,[(K\Phi - h) + K'h\sin\gamma]\left[1 + \frac{2\pi\alpha\lambda\,K'h\cos\gamma}{\sqrt{E_1^2 - 4\pi^2\alpha^2\lambda^2\,[K\Phi - h) + K'h\sin\gamma]^2}}\right].$$

Les directions OI et OJ [voir fig. (2)] sont très sensiblement perpendiculaires. Donc l'angle γ est très petit.

Mais, pour que la machine en tournant puisse fournir un travail positif, il faut que la direction OJ soit toujours comprise entre OΦ et Oψ. Donc pour $i = 0$, l'angle j aura une petite valeur comprise entre 0 et $\frac{\pi}{2}$. Cette valeur n'étant autre que celle de l'angle γ, nous aurons

$$\sin\gamma > 0 \quad \text{et} \cos\gamma > 0.$$

Donc, pour $i = 0$, la dérivée $\frac{dH_1}{di}$ sera négative. Si nous remarquons que l'angle γ étant très petit, $\sin\gamma$ l'est également. Si nous remarquons, d'un autre côté, que la différence $(K\Phi - h)$ est proportionnelle au débit de la commutatrice, nous arrivons à la conclusion suivante.

Pour $i = 0$, la dérivée $\frac{dH_1}{di}$ est négative et sa grandeur absolue est très sensiblement proportionnelle au coefficient de self-induction l et au débit de la commutatrice.

Supposons maintenant que la commutatrice prenne un mouvement d'avance. Les directions OI et OJ [voir fig. (2)] demeureront fixes, mais les directions OΦ et Oψ se déplaceront dans le sens de la flèche f. L'angle i subit donc une diminution égale au mouvement d'avance de la machine. Nous arrivons ainsi à la conclusion suivante.

Si les balais de la commutatrice sont calés suivant la ligne neutre, tout mouvement d'avance de son armature détermine d'abord une élévation du voltage mesuré à ses bornes des courants alternatifs qui la traversent. Cette élévation de voltage est proportionnelle à son débit et au coefficient de self-induction des bobines intercalées entre elles et les extrémités du réseau qui l'alimente.

Réciproquement, tout mouvement de retard amène d'abord une diminution de ce voltage.

***

Si le voltage aux bornes de la commutatrice demeurait constant, son couple moteur diminuerait lorsqu'elle prendrait un mouvement d'avance.

Mais à tout accroissement de voltage correspond une augmentation de ce couple.

Aux faibles charges, le premier effet l'emporte sur le second. Le couple moteur de la machine diminue quand elle prend de l'avance et réciproquement. Sa vitesse est maintenue automatiquement constante.

Au delà d'une certaine charge, le second effet prédomine. Alors, à un mouvement d'avance correspond un accroissement du couple moteur. La commutatrice continue donc à prendre de l'avance, jusqu'à ce que ce couple cesse de croître.

Elle se trouve, à ce moment, dans une position d'équilibre instable et elle prend bientôt un mouvement de retard qui dure jusqu'à ce que le couple cesse de décroître.

On pourrait se proposer de calculer l'amplitude du mouvement pendulaire ainsi déterminé, mais les calculs nécessaires seraient très compliqués et sans intérêt. L'expérience montre que, dès qu'il commence à se manifester, son amplitude croît très rapidement avec le débit de la commutatrice et que le fonctionnement de cette dernière devient presque aussitôt impossible.

Nous n'avons donc qu'à rechercher les moyens de nous opposer à sa production et nous en savons assez pour cela.

L'élévation du voltage aux bornes de la commutatrice, occasionnée par un mouvement d'avance de son armature, amène un accroissement anormal de son couple moteur, parce que son excitation demeure constante. Mais le couple moteur d'une machine est aussi fonction de son excitation et diminue avec elle. Donc, si la même élévation de voltage pouvait provoquer une diminution de l'excitation de la commutatrice, l'accroissement du couple moteur pourrait être rendu nul et même négatif.

Or, l'élévation de voltage aux bornes de la commutatrice détermine une augmentation de l'intensité du courant continu qu'elle débite. Nous avons utilisé cet effet en donnant deux enroulements aux bobines de son inducteur.

Le premier enroulement était monté en dérivation entre les balais de la commutatrice. Le second était monté en série dans le circuit du courant continu, de telle manière que sa force magnétisante se retranchât de celle du premier enroulement.

L'expérience a complètement justifié nos prévisions et, une fois cette modification faite, nous avons pu mettre en pleine charge notre commutatrice munie de son survolteur, aussi facilement que lorsque les circuits primaires de son transformateur étaient directement branchés sur le réseau.

Conclusion. — Nous avons vu, dans ce qui précède, que les phénomènes dont une commutatrice est le siège peuvent amener à eux seuls la production de mouvements pendulaires superposés à son mouvement de rotation, que la commutatrice serve à transformer un courant continu en courants alternatifs ou réciproquement.

Ces mouvements pendulaires se produiront toujours, dès que la commutatrice aura atteint une charge limite qui sera d'autant plus basse que les circuits parcourus par les courants alternatifs auront un coefficient de self-induction apparent plus élevé.

Il est nécessaire que cette charge limite soit supérieure à la charge maxima compatible avec une bonne commutation.

Il conviendra d'abord de réduire, autant qu'on le pourra, la self-induction apparente de tous les circuits parcourus par les courants alternatifs. C'est ainsi qu'il ne serait pas raisonnable de vouloir alimenter un moteur d'induction avec des courants alternatifs fournis par une commutatrice et provenant de la transformation d'un courant continu.

D'un autre côté, il conviendra toujours de munir les inducteurs d'une commutatrice d'un enroulement compound.

Lorsque la commutatrice transformera un courant continu en courants alternatifs, les forces magnétisantes développées par les deux enroulements devront s'ajouter. Elles devront, au contraire, se retrancher lorsque la commutatrice transformera des courants alternatifs en courant continu.

Nous savons cependant que, dans beaucoup d'installations, on a monté en série des bobines de self-induction dans les circuits à courants alternatifs des commutatrices et qu'on a donné, en même temps, à leurs inducteurs un double enroulement disposé de manière que les forces magnétisantes développées par les deux enroulements fussent de même sens.

Cette disposition avait pour but de faire accompagner tout accroissement de l'intensité du courant continu d'un accroissement de son voltage.

Nous avons vu des commutatrices ainsi disposées fonctionner d'une manière parfaite. Mais il s'agissait de machines ayant une très faible réaction d'induit et dans lesquelles la valeur de la composante OI (voir la figure 2 de la note II) avait toujours une valeur très petite, par rapport à la composante OJ. Dans ces conditions, les surélévations de voltage dues aux mouvements d'avance des armatures étaient très petites.

D'un autre côté, ces machines n'avaient pas à charger d'accumulateurs, comme dans le cas dont nous nous sommes occupés. Les variations d'intensité du courant continu produites par ces surélévations de voltage étaient donc beaucoup plus petites que dans notre cas, toutes charges égales d'ailleurs. On pouvait donc considérer comme négligeable l'accroissement d'excitation déterminé alors par l'enroulement inducteur en série, lorsque l'armature prenait un mouvement d'avance.

Enfin les machines étaient alimentées par des alternateurs à très faible réaction d'induit. Or, il faut remarquer que rien ne distingue, dans les calculs qui accompagnent cette note, la self-induction des circuits d'armature d'un alternateur, dont l'excitation est faite au moyen d'un courant continu d'intensité constante, de celle des bobines de self-induction que nous avons supposées introduites dans les circuits à courants alternatifs des commutatrices.

Rien ne dit que ces commutatrices, que nous avons vu fonctionner parfaitement dans des conditions déterminées, eussent fonctionné aussi bien si on les avait branchées sur un autre réseau ou si, par exemple, on leur avait fait desservir des moteurs à courant continu montés en dérivation et développant des forces contre-électromotrices comparables à celle développée par une batterie d'accumulateurs en charge.

Nous avons d'ailleurs observé des commutatrices qui fonctionnaient d'une manière assez médiocre, sur un réseau desservi par un seul alternateur, se mettre à très bien fonctionner lorsque l'on mettait deux alternateurs en parallèle. Nous avions cru d'abord que la régularité des courants était devenue meilleure ; nous avons vérifié ensuite que c'était l'inverse et que l'amélioration du fonctionnement était due à la diminution de la self-induction de la source d'électricité.

Pour ces raisons, nous considérons comme une pratique dangereuse et pouvant amener des surprises désagréables, l'emploi combiné de bobines de self-induction montées en série dans les circuits à courants alternatifs des commutatrices et de doubles enroulements inducteurs produisant des forces magnétisantes de même sens.

Il est prudent de se réserver la faculté de pouvoir renverser le sens du courant dans l'enroulement inducteur en série.

Dans l'expérience que nous avons signalée plus haut, la commutatrice et les alternateurs avaient une réaction d'induit très élevée. La self-induction introduite dans chacun des circuits à courants alternatifs de la commutatrice était aussi très considérable, enfin la commutatrice chargeait des accumulateurs. Il est vraisemblable que l'on ne rencontrera jamais des conditions aussi défavorables, au point de vue qui nous occupe. Aussi nous pensons que l'emploi d'inducteurs à deux enroulements produisant des forces magnétisantes de sens inverses, qui nous a donné toute satisfaction, permettra de s'opposer, dans tous les cas, à la production des mouvements pendulaires dont la cause est due aux phénomènes dont la commutatrice est le siège.

Lorsque l'on voudra que tout accroissement de l'intensité des courants continus fournis soit accompagné d'un accroissement de leur voltage et qu'il n'y aura qu'une seule station de transformation, il conviendra de surcompounder les alternateurs. Nous savons que rien n'est plus facile.

Si les alternateurs desservent simultanément plusieurs stations de transformation et si l'on ne veut pas que le fonctionnement de chacune d'elles soit affecté par celui des autres, il convienda d'adjoindre des survolteurs automatiques aux commutatrices.

Maurice LEBLANC.

INDICATEUR DU Dr RUDOLF FRANKE

POUR LE TRACÉ DES COURBES DE PHÉNOMÈNES ÉLECTRIQUES VARIABLES

L'« indicateur » du Dr R. Franke permet de tracer par points, et d'une manière extrêmement précise, les courbes des phénomènes électriques variables. Il se compose d'un appareil à contacts établi d'après le principe de Joubert, dans la construction duquel on a apporté les soins les plus minutieux, et d'un organe d'inscription qui a quelque analogie avec celui d'un indicateur proprement dit pour machine à vapeur.

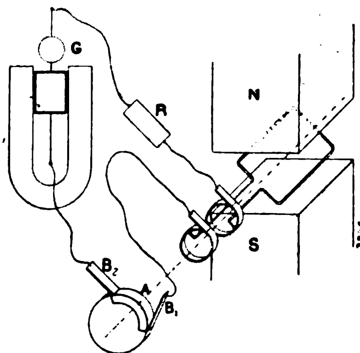


Fig. 1.

Le principe de Joubert est trop connu pour qu'il soit utile de donner de longues explications sur la figure 1 qui le schématise. Sur l'arbre de la machine à étudier, supposée bi-polaire, on monte un disque isolé sur lequel frottent deux balais B_1 et B_2. — Une pièce métallique A permet de mettre les deux balais en communication une fois par tour et pendant un temps que l'on peut régler en déplaçant les balais l'un par rapport à l'autre. L'instrument de mesure G, protégé par une résistance convenable R donne une déviation proportionnelle à la tension qui existe au moment du contact. On sait d'ailleurs qu'il est bon de mettre un condensateur en dérivation sur le galvanomètre et de shunter ce dernier par une résistance réglable : le condensateur se charge et se décharge une fois par tour, et si les circuits sont tels que la constante de temps du circuit de charge soit assez faible et la constante de temps du circuit de décharge assez grande, l'aiguille du galvanomètre reste immobile tant qu'on ne fait aucune modification aux balais.

L'appareil à contacts du Dr Franke est particulièrement intéressant : il est représenté très complètement par les figures 2 et 3. La pièce importante est un collecteur K composé de 5 segments métalliques inégaux et complètement isolés les uns des autres ; quatre d'entre eux embrassent chacun un arc d'environ 60°, le cinquième, A, un arc d'environ 120° ; ce dernier est le seul qui

soit utilisé dans la mesure. Un disque S, qui peut effectuer un tour complet autour de son axe

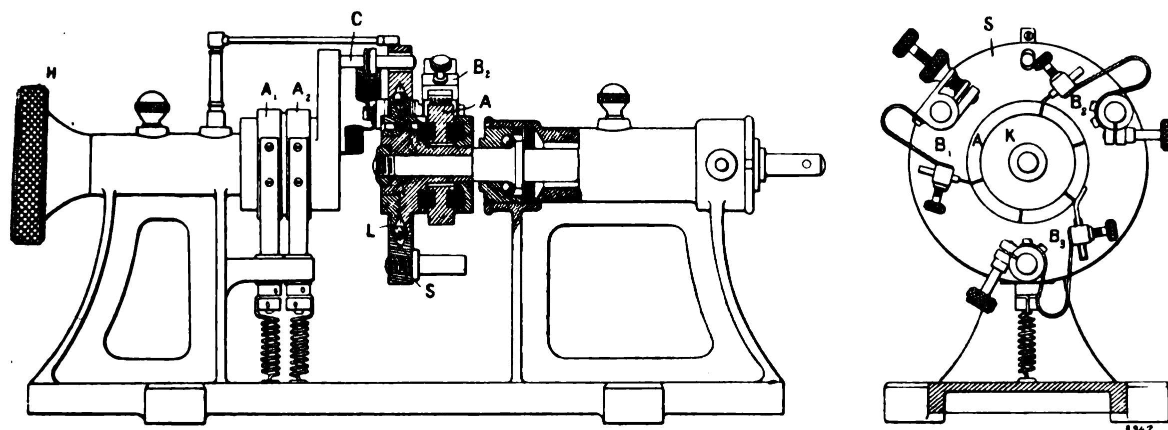


Fig. 2 et 3. — Appareil à contacts Franke.

porte trois porte-balais disposés à 120° environ les uns des autres, les deux porte-balais B_1 et B_2 ayant seuls des frotteurs conducteurs. La mise en court-circuit de ces deux balais par le segment

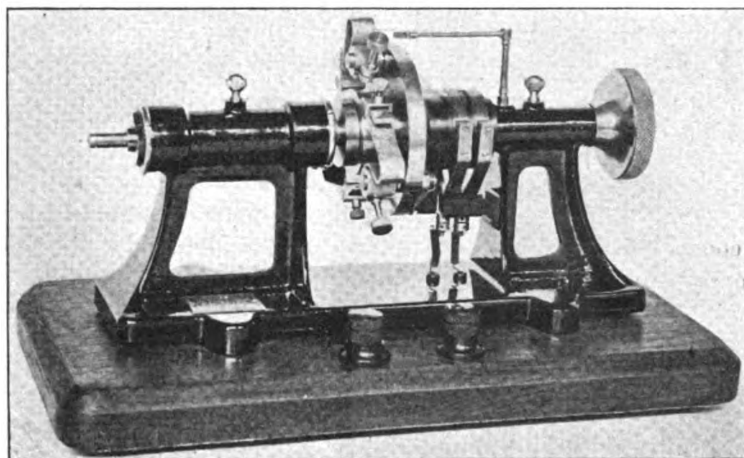


Fig. 4. — Vue de l'appareil à contacts.

de collecteur A ne dure que pendant le temps correspondant à la différence entre le développement extérieur de ce segment et l'écart des deux balais, compté sur la circonférence du collecteur; ce dernier facteur étant modifiable, la durée des contacts peut être réglée comme on le désire. Les quatre autres segments du collecteur n'ont été prévus que pour assurer aux frotteurs un appui toujours de même nature, de manière à ce qu'il n'y ait pas d'irrégularité dans la surface de contact et par suite que les frotteurs ne vibrent pas. On apporte la plus grande attention à ce que les balais se déplacent bien concentriquement au collecteur : le moindre excentrage causant une modification de la durée des contacts, et étant par suite une cause d'erreur.

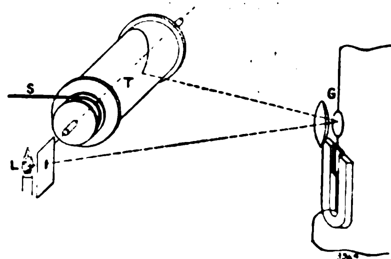


Fig. 5.

Le disque porte-balais prend appui sur l'arbre par l'intermédiaire d'un roulement à billes L; les arbres tournent dans des paliers également à billes; la rotation de ce porte-balais est com-

mandée par un bouton moleté H. Le troisième porte-balais reçoit un tampon imbibé de pétrole

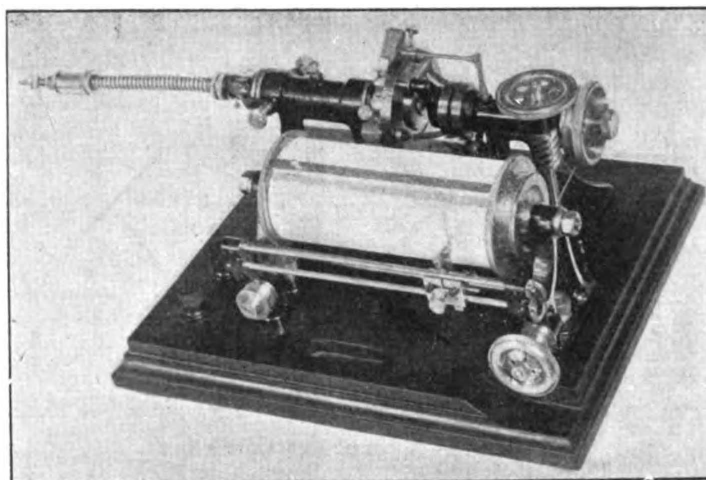


Fig. 6. — Indicateur Franke avec dispositif inscripteur.

lequel vient nettoyer constamment la surface du collecteur. Il faut bien noter que ce collecteur peut faire de 40 à 200 tours par seconde.

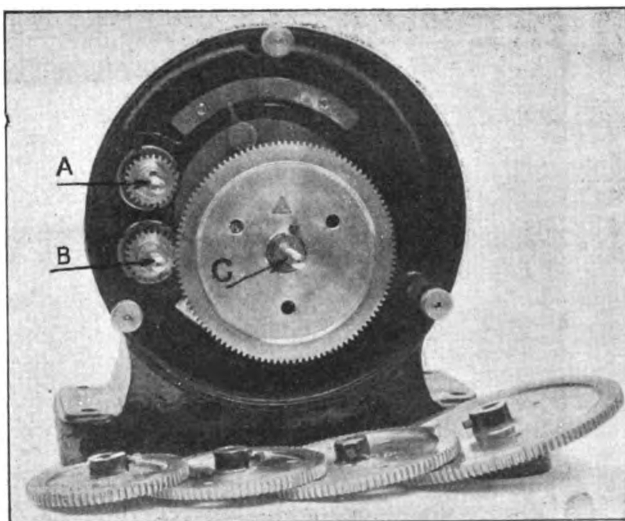


Fig. 7. — Appareil à engrenages.

La figure 4 montre l'aspect extérieur de l'appareil et ne nécessite pas d'explications nouvelles.

L'appareil de Franke n'est pas absolument automatique, mais il permet cependant de tracer les courbes par points avec une grande précision. Le dispositif de principe est indiqué sur la figure 5.

Un tambour à axe horizontal T, absolument analogue à celui d'un indicateur de Watt, avec rappel à ressort, est conduit par une cordelette S, laquelle s'enroule, de l'autre côté, sur une poulie calée sur l'arbre qui porte les balais mobiles de l'appareil à contacts. De la sorte toutes les fois que l'on donne à cet arbre un certain déplacement angulaire, le tambour inscripteur tourne d'un angle proportionnel. Ce déplacement donne les abscisses de la courbe. C'est la tache lumineuse donnée par le miroir du galvanomètre G qui indique les ordonnées. On marque avec la pointe d'un crayon le point où s'arrête cette tache lumineuse.

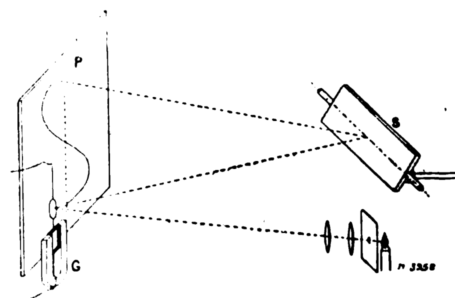


Fig. 8.

La figure 6 représente l'ensemble de l'indicateur de Franke. On voit que le porte-crayon se déplace sur des guides parallèles à l'axe du tambour inscripteur ; il est conduit par une cordelette qui est toujours sollicitée par un rappel à ressort à s'enrouler sur le petit tambour que l'on aperçoit fixé au palier de gauche du cylindre inscripteur.

Ce porte-crayon est amené vers la droite à l'aide d'une seconde cordelette qui s'enroule sur un petit tambour manœuvré à l'aide d'un bouton moleté et muni d'un dispositif de réglage de tension. Le porte-crayon est muni d'un viseur que l'on place exactement sur la tache lumineuse. En faisant manœuvrer l'appareil à contacts avec la main droite, et le porte-crayon avec la main gauche, on peut relever très rapidement une courbe. La longueur du tambour est de 150 mm, et son diamètre est tel que la largeur libre de papier correspondant à un tour complet de l'arbre de l'appareil à contacts, soit de 180 mm. 1 mm de longueur sur l'axe des abscises correspond donc à un déplacement de 2° des balais de contact.

Dans ce qui précède, nous avons supposé qu'un tour complet de l'appareil à contacts correspond à une période entière. Il n'est donc possible de relier cet appareil avec la machine à étudier que si elle est bi-polaire. Ce n'est jamais le cas. Il faut employer ou bien un moteur synchrone bi-polaire, ou un appareil à trains d'engrenages comme celui de la figure 7. Deux arbres A et B sont reliés à demeure par un train d'engrenages de rapport 1/2. Un troisième arbre C est placé excentriquement dans un tambour et en faisant tourner ce dernier, on peut faire prendre à cet arbre C une série de positions différentes. Sur l'arbre C, on peut venir caler un certain nombre de pignons engrenant soit avec la roue A, soit avec la roue B.

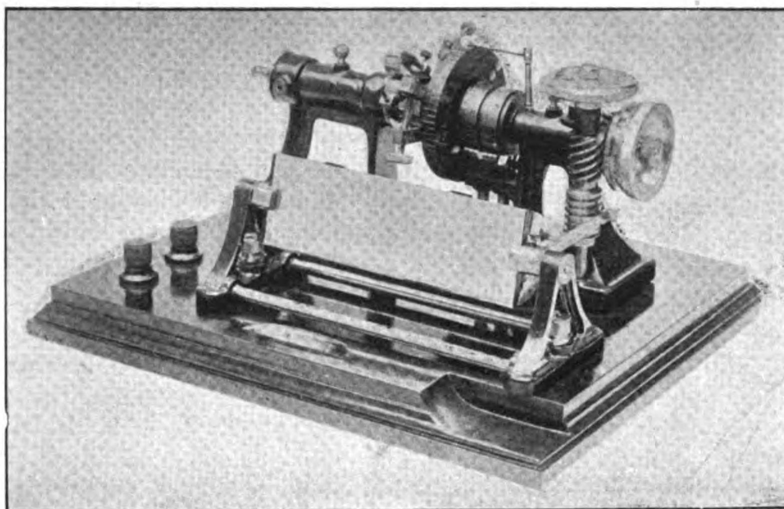


Fig. 9. — Indicateur Franke avec dispositif de projection.

On réunit l'arbre de la machine à essayer au premier arbre de l'appareil à engrenages à l'aide d'un flexible, ou mieux, afin d'éviter toute oscillation, à l'aide d'un arbre à joints de Cardan.

On peut se servir de l'appareil pour tracer une courbe sur un écran devant un nombreux auditoire. Pour cela le tambour est remplacé par un miroir et les figures 8 et 9 font hautement saisir le dispositif employé.

M. le docteur Franke a bien voulu, et nous l'en remercions, nous communiquer un certain nombre de courbes relevées à l'aide de son appareil. Les courbes sont reproduites ici à l'échelle $\frac{1}{2}$.

La figure 10 représente les courbes de tension et de courant d'un transformateur à vide.

La figure 11 représente les courbes de tension et de courant d'un transformateur sous charge.

Les autres figures sont relatives à des charges et à des décharges de condensateurs. Bien que ces phénomènes ne soient pas périodiques l'appareil permet de tracer les courbes de leurs variations. Pour cela, on conduit l'appareil à contacts par un petit électro-moteur, par exemple, et sur l'arbre de ce dernier on dispose un commutateur qui reproduit le phénomène étudié dans le circuit correspondant, d'une manière identique à chaque tour.

La figure 12 se rapporte à la charge et à la décharge normale du condensateur ; la figure 13 à

la charge oscillante, mais à la décharge non oscillante du condensateur ; pour la figure 14 au con-

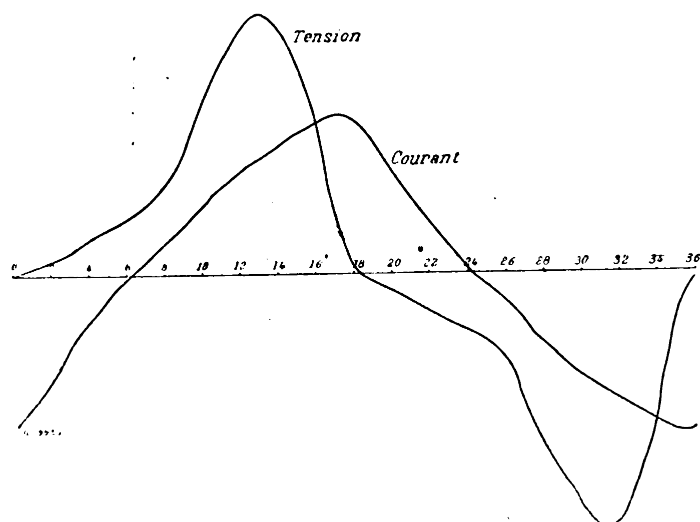


Fig. 10.

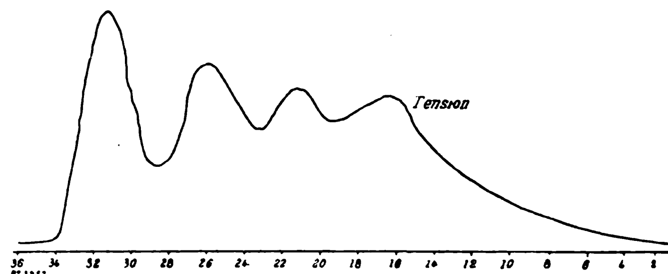


Fig. 13.

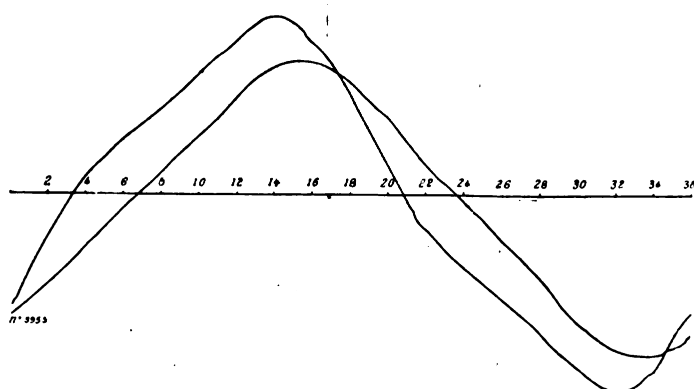


Fig. 11.

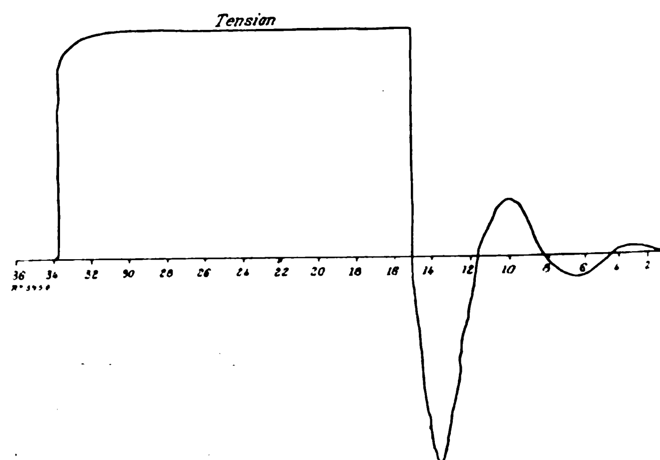


Fig. 14.

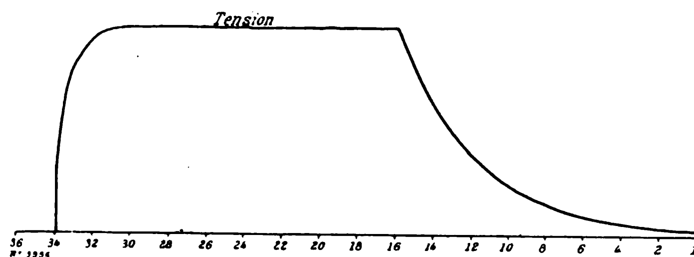


Fig. 12.

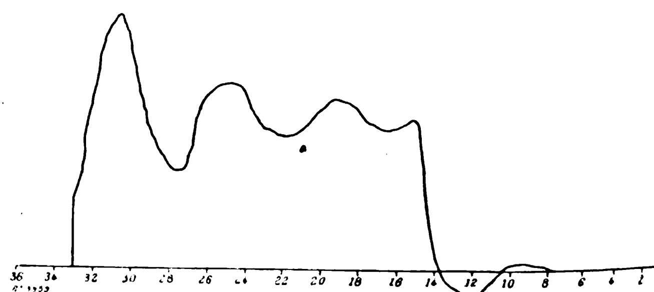


Fig. 15.

traire, c'est la décharge qui est oscillante ; la figure 15 représente une charge et une décharge oscillantes.

R.-W. James.

SUR LE

COEFFICIENT D'IRRÉGULARITÉ DES MACHINES MOTRICES [1]

L'électrotechnique moderne a pris l'habitude d'imposer des conditions très sévères aux constructeurs des machines utilisées pour la conduite des dynamos. Ces conditions sont, en particulier, relatives à la régularité, et à un certain minimum de l'irrégularité sans lequel, pense-t-on aujourd'hui, on ne saurait assurer une marche irréprochable. Si tant est qu'en général, les machines actuelles satisfont à ces exigences, dans nombre de cas, le fonctionnement des dynamos amène à conclure que l'irrégularité des machines motrices a une influence des plus perturbatrices sur la marche de toute l'installation. L'électricien est donc porté à soutenir que le moteur n'a pas la régularité prévue, tandis que le mécanicien cherche à prouver par le calcul que sa machine satisfait complètement aux conditions imposées. Il y a donc antagonisme des deux parties d'où, fort souvent, des discussions. Aussi, depuis longtemps, sent-on le besoin de déterminer le coefficient d'irrégularité par un dispositif expérimental simple. Je me propose d'indiquer comment on peut arriver à cette détermination, et dans ce but, je diviserai le sujet traité en trois parties :

1° L'irrégularité et les phénomènes connexes dans les moteurs ;
2° La critique des méthodes de détermination du coefficient d'irrégularité ;
3° Quelques considérations sur l'importance du coefficient d'irrégularité pour l'électricien.

I. — Toute machine motrice, dans laquelle un mouvement de va-et-vient est transformé en mouvement de rotation, possède un couple variable par suite de la variation de l'effort tangentiel. Par conséquent, même si le nombre de tours pendant un certain temps demeure sensiblement constant, la vitesse angulaire présente plusieurs valeurs différentes pendant un tour, et ces valeurs se reproduisent généralement d'une manière périodique à chaque tour. Le mouvement de rotation irrégulier peut donc être considéré comme résultant de la superposition d'un mouvement de rotation uniforme et d'un mouvement oscillatoire dont la période correspond à la durée d'un tour ou d'une fraction de tour. Comme terme de mesure de la grandeur de l'irrégularité, on a créé la notion de coefficient d'irrégularité défini par le rapport entre la différence des vitesses maxima et minima et la vitesse moyenne.

Cette définition n'a rigoureusement de valeur que pour un tour, car si le nombre de tours varie un peu, la vitesse moyenne et en même temps la valeur du coefficient d'irrégularité se modifient. Celui qui a cherché à déterminer, avec la plus grande exactitude possible, la vitesse moyenne d'une machine motrice en évitant l'emploi de tachymètres ou de compte-tours inexacts, a trouvé que toute machine qui possède un coefficient d'irrégularité présente des variations continuelles dans son nombre de tours, même sous une charge absolument constante. Cette constatation s'exécute sans difficulté en mesurant, par la méthode de compensation, la tension d'une dynamo à courant continu, directement accouplée avec la machine étudiée et excitée par une source séparée. On constate alors que la tension, proportionnelle au nombre de tours, ne conserve pas un seul moment une valeur égale, mais augmente et diminue à chaque instant. Ces variations de vitesse, dues au fait que la durée d'un tour n'est pas constante, ont nécessairement une période beaucoup plus longue que les irrégularités par tour ; elles se manifestent tantôt avec une allure périodique, tantôt tout à fait irrégulièrement et elles sont généralement moins accentuées avec des moteurs à vapeur qu'avec des moteurs à gaz ; leur valeur est comprise entre quelques millièmes et quelques centièmes de la vitesse moyenne. Ces oscillations se font généralement sentir sans que rien soit modifié au régulateur ou au reste de la machine. On doit, à mon sens, chercher la cause de ce phénomène en partie dans le coefficient d'irrégularité lui-même ; c'est en effet, en raison de cette irrégularité par tour que les parties qui peuvent prendre un mouvement pendulaire, c'est-à-dire le volant avec son arbre susceptible d'une certaine torsion ainsi que ses rayons, sont mises en oscillation par

[1] Conférence faite au 9e congrès annuel de la Société des Electriciens à Dresde.

****

résonance et comme, en général, les oscillations propres de ces pièces ont des périodes différentes, un mouvement résultant prend naissance. On peut cependant aussi faire remonter en partie le phénomène à des chocs dans la machine, de même qu'à un afflux inégal d'énergie pendant les différents tours. Si les variations de la durée d'un tour sont, en général, assez faibles pour n'entraîner aucun inconvénient dans beaucoup d'applications, elles ne sont pourtant pas négligeables, comme je le montrerai plus loin, aux yeux de l'ingénieur qui s'occupe des courants alternatifs. Dans la détermination du coefficient d'irrégularité, leur influence est perturbatrice au plus haut point. Il nous faut donc toujours compter avec une vitesse composée, dont la courbe a à peu près l'allure de la figure 1 ; sur cette courbe, les petites ondulations représentent les différentes vitesses angulaires par tour, et les plus grandes, la variation de la durée d'un tour.

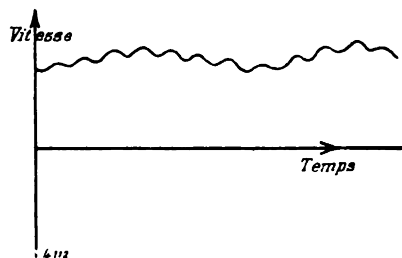


Fig. 1.

Il y a quelques années encore, un coefficient d'irrégularité de 1/100 était considéré comme très petit, aujourd'hui on va jusqu'à 1/300 et même jusqu'à 1/500. Je reviendrai, à la fin de mon travail, sur la question de savoir s'il convient de descendre jusqu'à des valeurs aussi basses, d'autant plus que souvent les variations de la durée d'un tour sont plus grandes que le coefficient d'irrégularité lui-même. La détermination de ce dernier est d'autant plus difficile qu'il est plus petit, comme le montre l'exemple suivant. Si l'on a à mesurer un coefficient d'irrégularité de 1/200, à 10 p. 100 près, cela veut dire que la 5/1000 partie de la vitesse moyenne doit être déterminée à 10 p. 100 près, ou encore que l'on doit pouvoir mesurer exactement la 5/10000 partie de la vitesse moyenne. C'est là une mesure de précision qui ne peut s'effectuer par des moyens simples.

Eh bien, suivant le point auquel on rapporte le coefficient d'irrégularité, l'arbre, la jante du volant ou la dynamo, ce nombre peut prendre différentes valeurs par suite de l'interposition de pièces élastiques. C'est le coefficient d'irrégularité à la dynamo qui nous intéresse, mais comme nous ne pouvons le mesurer à la circonférence extérieure de l'armature, c'est-à-dire dans la région où se développe la force électromotrice, on est réduit à monter l'appareil sur l'arbre. De plus, il faut proscrire toute liaison élastique ou glissante. Un appareil destiné à la détermination du coefficient d'irrégularité doit, d'après cela, remplir les conditions suivantes :

L'appareil doit être très sensible et très exact, il ne doit renfermer aucun organe et aucune liaison élastique ou glissante, il doit permettre d'éliminer les variations de la durée d'un tour.

II. — Nous allons maintenant étudier à ces différents points de vue, les différentes méthodes que, pour plus de clarté, j'ai divisées en trois classes :

1° Détermination du coefficient d'irrégularité d'après les chemins parcourus en des temps égaux ou d'après les temps inégaux pendant lesquels sont parcourus des chemins égaux ;

2° Détermination du coefficient d'irrégularité d'après la courbe qui représente l'écart entre le mouvement irrégulier et un mouvement régulier se produisant pendant le même temps ;

3° Détermination du coefficient d'irrégularité par des mesures directes de vitesse.

Il ne m'est naturellement pas possible de passer en revue même brièvement toutes les recherches effectuées dans cet ordre d'idées ; il vaut mieux examiner quelques procédés types qui se retrouvent toujours à quelques variantes près.

1. Les méthodes les plus anciennes et en même temps les plus employées jusqu'ici, appartiennent à la première classe. Elles découlent de la méthode originale de Radinger qui consiste à faire tracer par un diapason vibrant régulièrement des courbes ondulées sur la surface d'un cylindre tournant d'un mouvement irrégulier. Parfois on a fait ce tracé sur la jante même du volant de la machine motrice préalablement recouverte de noir de fumée. On a aussi proposé [1]

[1] Cf. Grahau. *Stahl und Eisen*, 1899.

de lier un cylindre inscripteur A au mouvement de la machine à étudier, qui elle-même commandait au moyen d'une vis le déplacement du diapason B parallèlement à l'axe (fig. 2).

La valeur du coefficient d'irrégularité pouvait être déduite des écarts entre les différentes ondulations. Avant chaque inscription de diagramme, il faut arrêter la machine pour préparer la surface sur laquelle se fera l'inscription ; de plus la mesure des ondulations ne peut se faire avec grande précision et l'élimination des variations de durée d'un tour est difficile ; on conçoit donc que cette méthode n'ait rencontré aucune faveur dans la pratique.

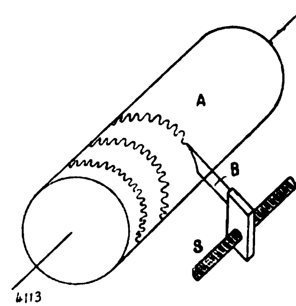


Fig. 2.

M. le docteur Göpel [1] a modifié le procédé de Radinger en réduisant autant que possible ses imperfections et il a indiqué un procédé mathématique ingénieux pour éliminer en partie les erreurs provenant des variations de durée d'un tour. La modification consiste à remplacer le cylindre par un disque monté avec interposition d'un moyeu en bois sur l'arbre de la machine à essayer. L'inscription étant faite par un diapason que l'on déplaçait à la main du centre à la périphérie.

Quoique ce procédé ait donné des résultats relativement bons, il ne faut pas perdre de vue que les machines étudiées avaient de grands coefficients d'irrégularité, de l'ordre de 1/80. Si on descend au-dessous de 1/100, la méthode ne va plus parce que la grandeur de la distance entre les ondulations du diagramme est si petite qu'il n'y a plus de précision possible, surtout étant donnée l'influence pertubatrice des phénomènes annexes.

Dans cette première classe de méthodes, on peut ranger encore celle qui consiste à se rendre compte des différences de vitesse angulaire par la hauteur du son que rend un corps vibrant, dont le mouvement est entretenu par une roue dentée tournant d'une façon non uniforme.

Les variations de hauteur du son rendu par le diapason indiquent que des chemins égaux — c'est-à-dire l'espace entre deux dents de la roue — sont parcourus en des temps inégaux. Le procédé est à rejeter, car une oreille même exercée ne peut ainsi juger que d'assez grands coefficients d'irrégularité.

2. Nous arrivons à la deuxième classe de procédés : ceux qui permettent de faire une mesure d'après la différence de marche de deux mobiles animés, l'un d'une vitesse non uniforme, l'autre d'une vitesse uniforme. Il ne suffit nullement de déterminer les élongations ou si l'on veut les amplitudes des oscillations de la machine en mouvement pendulaire par rapport aux corps tournant d'un mouvement uniforme. En effet dès que l'amplitude maxima est atteinte, la machine est en repos par rapport aux corps animés d'une vitesse uniforme, elle se meut donc avec une vitesse moyenne. Mais nous voulons déterminer la vitesse maxima et la vitesse minima de ce mouvement pendulaire et nous ne pouvons y parvenir qu'en enregistrant la totalité du mouvement irrégulier. Les appareils destinés à enregistrer les amplitudes d'oscillations, qui sont d'ailleurs sujets à des erreurs du fait de la variation de la durée d'un tour, ne peuvent jamais servir à la mesure du coefficient d'irrégularité, et n'ont pour l'électricien qu'un intérêt de second ordre. Ainsi, par exemple, l'appareil de Aichele [2] qui permet d'enregistrer les amplitudes du mouvement irrégulier par un crayon qui trace des arcs de cercle sur un volant tournant d'un mouvement uniforme ne permet aucunement de faire une mesure exacte, car les variations de la durée d'un tour modifient les amplitudes d'une manière dont on ne peut se rendre un compte exact. C'est autre chose pour le procédé stroboscopique de Görges [2] : la masse tournant d'un mouvement uniforme est remplacée par des pulsations lumineuses régulières correspondant à la vitesse moyenne de la machine à étudier ; chaque pulsation alors accuse une position déterminée de la machine de sorte qu'on peut observer nettement le mouvement pendulaire. Ce procédé permet d'observer, d'après

---

(1) *Zeitschrift des Vereines Deutscher Ingenieure*, 1900.

(2) *Elektrotechnische Zeitschrift*, 1900.

les différentes amplitudes, l'effet résultant de l'irrégularité et des variations de la durée d'un tour, mais ne peut jamais servir à déterminer le coefficient d'irrégularité lui-même.

Des appareils assez compliqués sont nécessaires pour le tracé des courbes complètes de mouvements. On ne trouve sur eux que peu de renseignements dans les publications, parce que la plupart des essais dans cet ordre d'idées n'ont pas réussi ; toutefois les brevets (DRP) 50 569 — 81 572 — 84 817 sont relatifs à des procédés de ce genre et ont entre eux une certaine analogie.

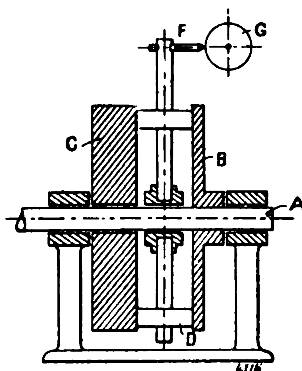


Fig. 3.

Je vais décrire l'appareil de la maison Schaefer et Budenberg (D.RP. 81 572).

Un arbre A (fig. 3) sur lequel est fixé un disque B est accouplé rigidement à la machine motrice. Un volant C est monté fou sur l'arbre A. Entre le disque et le volant est disposé un équipage satellite D, dont les pignons tournent autour d'un arbre vertical E. A l'extrémité de l'arbre est disposé un crayon F qui doit inscrire la courbe sur un tambour animé d'un mouvement de rotation uniforme. Si l'on suppose que l'arbre E est d'abord retenu par des ressorts de manière à conserver une certaine position d'équilibre, le mouvement du disque B sera alors communiqué au volant par l'équipage satellite D et ce volant prendra au bout de quelque temps une vitesse moyenne.

Toute différence entre la vitesse de B et celle de C aura pour résultat l'entraînement dans un sens ou dans l'autre des pignons D, donc aussi de leur axe de rotation, le crayon s'écarte et trace une courbe sur le cylindre G.

On obtient ainsi une courbe ayant l'allure de celle de la figure 4, qui ne représente pas autre chose que la différence entre les deux mouvements.

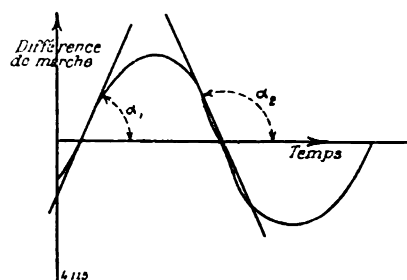


Fig. 4.

C'est par conséquent une courbe de mouvement dont le coefficient angulaire de la tangente en chaque point donne la vitesse. Pour connaître la vitesse, à chaque instant, il faudrait donc déduire, par différentiation, une courbe de vitesse, de la courbe de mouvement, ce qui est un procédé très incommode. Comme pour notre étude il nous suffit de connaître les vitesses maxima et minima, nous n'avons qu'à tracer les tangentes aux points pour lesquels elles se rapprochent le plus de la verticale. Le coefficient d'irrégularité est alors :

$$U = \frac{c\,(\operatorname{tg} \alpha_1 - \operatorname{tg} \alpha_2)}{2\pi r n}$$

n, étant le nombre de tours par seconde du tambour. Il y a bien quelques objections à faire sur le fonctionnement de l'appareil, car les roues satellites n'empêchent pas les glissements et cela amène des erreurs dont il est difficile de déterminer l'ordre de grandeur.

D'ailleurs l'appareil n'est pas assez sensible pour mesurer le coefficient d'irrégularité, aussi est-il abandonné.

La figure 5 représente un appareil fondé sur le principe du dynamomètre de transmission de Hefner von Alteneck. La machine étudiée A est reliée par une corde S à un volant tournant régulièrement.

La corde passe sur les galets fixes R_1 R_2 R_3 et R_4 et les galets mobiles C, D, ces derniers étant reliés entre eux par une tige E. Lorsqu'une différence de vitesse se produit entre A et B — par exemple que A prend une avance sur B — le brin A R_1 C augmente de tension, et le brin A R_1 D se relâche d'autant ; il se produit par suite un déplacement des galets C et D dans le sens C D, déplacement qu'on enregistre à l'aide d'un crayon F mobile sur un tambour tournant en dessous. Le déplacement des galets C B représente la demi-différence de marche entre A et B.

Cet appareil qui peut être réalisé par des moyens simples a été longtemps utilisé par moi pour des recherches sur la marche du moteur à gaz. On ne doit pas l'employer pour les mesures parce qu'il renferme une transmission élastique qui introduit naturellement des erreurs non mesurables.

Dans l'été de 1900, j'ai pu connaître, par l'obligeance de M. le Dr Göpel, un appareil construit par lui au Reichanstalt; cet appareil appartient à la seconde classe et permet d'une manière tout à fait simple l'inscription d'un mouvement irrégulier. En voici à peu près le principe :

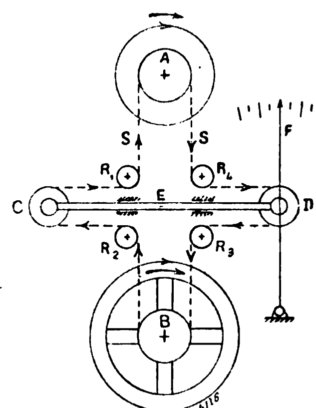


Fig. 5.

Un arbre vertical et un disque fixé horizontalement sur cet arbre sont conduits d'un mouvement uniforme par la machine à étudier. Au-dessus de ce disque se trouve un lourd volant maintenu par trois billes, de sorte que ce volant puisse prendre peu à peu un mouvement absolument régulier. La surface supérieure du volant est munie d'une feuille de papier sur laquelle vient frotter un crayon qui participe au mouvement irrégulier de l'axe vertical, et qu'on fait mouvoir de la périphérie au centre. Le crayon n'inscrit donc que la différence entre le mouvement irrégulier de l'arbre vertical et le mouvement régulier du volant, et cela sous la forme d'une courbe dont l'axe des abscisses est en général un rayon du disque. Le mouvement est communiqué à l'axe vertical par la machine motrice au moyen d'une cordelette. Quelle que soit la simplicité de ce dispositif, il n'exclut pas les glissements, et en outre, le mouvement radial du crayon fait que les amplitudes des ondulations de la courbe diminuent quand on se rapproche du centre. Ce procédé ne peut donc pas être plus que les autres considéré comme irréprochable ni comme tant soit peu exact.

Le dispositif de M. le Dr Göpel m'a conduit à la construction de l'appareil représenté schématiquement sur la figure 6. Un arbre horizontal A est conduit par la machine à essayer : un lourd volant cylindrique B, mobile à frottement doux autour de A sur des roulements à billes, l'amène d'abord à la vitesse moyenne en le faisant entraîner par un doigt C qu'il est facile d'effacer pour abandonner le volant à lui-même. Un crayon D peut se déplacer de droite à gauche, parallèlement à l'axe du tambour, le long d'une corde E, rigidement fixée à l'arbre A, et qui participe par conséquent à son mouvement irrégulier. On embraye au moment convenable un petit train d'engrenages disposé à droite, lequel commande l'enroulement d'une cordelette F sur un tambour T et, par suite, le mouvement du crayon. Cet appareil est relié à la machine par un accouplement rigide facile à débrayer, et de la sorte on se met à l'abri des perturbations élastiques autant que faire se peut. Comme l'inscription se fait sur une surface cylindrique, les amplitudes sont en général égales. Cet appareil a servi aux essais les plus divers, et on a pu constater qu'il n'y avait rien à reprocher à son fonctionnement, mais que sa sensibilité était trop faible pour les petits coefficients d'irrégularité. Pour accroître cette sensibilité, il suffisait d'accroître la vitesse du tambour; ce résultat peut s'obtenir par l'augmentation du diamètre du tambour ou par l'interposition d'un train d'engrenages entre le tambour et la machine. Les deux moyens ont été essayés. Dans le premiers cas, on arriva à des dimensions d'encombrement telles que l'appareil n'est plus maniable, et la force centrifuge vient déformer les courbes, sans qu'on puisse prévenir cet inconvénient. Dans le second cas, il faut tenir compte de l'irrégularité des dents sans parler du jeu des engrenages, lequel peut d'ailleurs être atténué par l'adjonction d'un petit frein sur l'arbre A. Pour toutes ces raisons, ce mode de construction n'a pas non plus été poursuivi.

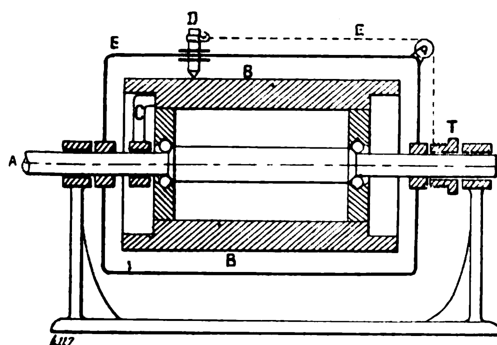


Fig. 6.

Pour remédier aux inconvénients que nous venons de signaler, on a imaginé le dispositif de la figure 7 : l'inscription est faite par un rayon lumineux. Un disque A percé de fenêtres est relié à la machine qui tourne d'un mouvement irrégulier. Un système de miroir B tourne d'un mouvement uniforme, et de telle sorte que, après que le disque A s'est déplacé d'un angle correspondant à l'écartement de deux fenêtres, un second miroir est venu se mettre à la place du premier. Le rayon lumineux, issu d'une source C, traverse un diaphragme D et une fenêtre du disque A, puis vient tomber sur l'un des miroirs B et est réfléchi sur un écran S. Quand il se produit une différence de marche entre le disque et le miroir, le rayon lumineux décrit un mouvement de droite à gauche. Si en même temps on entraîne l'écran dans la direction de la flèche, on peut fixer par la photographie la courbe du déplacement de la tache lumineuse. Ce procédé n'a pas donné de résultats remarquables, tant à cause de sa trop faible sensibilité que de sa complication.

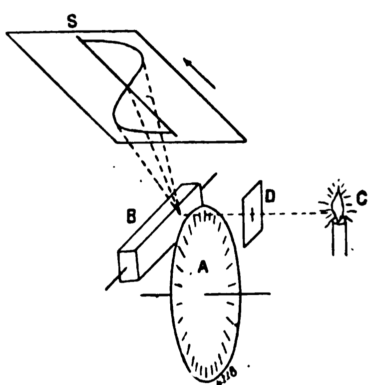


Fig. 7.

Il ne nous semble pas possible, étant donné les recherches déjà exécutées, qu'on puisse améliorer les appareils de cette seconde classe. Il sont très instructifs, mais ne valent rien pour des mesures précises.

3. Il ne nous reste plus qu'à parler des procédés de la classe 3 qui permettent de trouver le coefficient d'irrégularité par des déterminations des vitesses. Les appareils qui utilisent l'action de la force centrifuge, par exemple les tachygraphes, ne doivent pas être employés à cause de leur inertie et de leur manque de précision. Je les laisse donc dès maintenant de côté. Nous pouvons déterminer les vitesses avec une précision infiniment plus grande par le procédé représenté sur la figure 8. Une machine à courant continu A est rigidement liée à la machine à étudier, et sa force électromotrice, à excitation constante, est à chaque instant proportionnelle à la vitesse. On compense la tension produite par la dynamo à l'aide d'une force électromotrice opposée et égale à la force électromotrice moyenne, donc aussi à la vitesse moyenne de cette dynamo ; le galvanomètre G ne dévie donc que sous l'influence des courants qui proviennent d'une différence entre les deux tensions. Ce galvanomètre oscille par suite en suivant les variations de la vitesse non uniforme. C'est de cette manière qu'on trace, à l'École supérieure technique de Stuttgard, la courbe photographique du coefficient d'irrégularité d'un galvanomètre. Mais comme chaque galvanomètre présente des oscillations propres, la courbe relevée n'est jamais irréprochable, car elle représente un mouvement résultant. Si l'on veut se débarrasser de l'influence des oscillations propres du galvanomètre en employant un oscillographe ou le rayon cathodique d'un tube de Braun, on s'aperçoit malheureusement que la méthode présente une sensibilité beaucoup trop faible. Il restait encore une solution : remplacer le galvanomètre par un instrument à courants alternatifs. On peut, en effet, se représenter la tension irrégulière et un courant continu comme la résultante de la superposition d'une tension absolument régulière et d'une tension alternative. Si on compense, comme cela est indiqué dans la figure 8, la tension constante par une tension inverse, on peut mesurer le courant alternatif à l'aide d'un appareil spécial et obtenir directement l'irrégularité. Il faut toutefois noter ce qui suit : toute machine à courant continu donne une tension irrégulière, même si elle tourne régulièrement : les irrégularités proviennent, d'une part, de la mise en court-circuit des bobines, lorsque deux lames du collecteur passent sous le même balai, et, d'autre part, des irrégularités du bobinage et du champ. L'appareil à courants alternatifs est toujours sensible à ces irrégularités qui ont leur origine dans le principe même de la machine à courant continu. On pourrait toutefois en tenir compte en faisant un essai préalable à vitesse constante avec la dynamo elle-même, ou en employant une machine à courant continu unipolaire sans collecteur. Cependant la méthode n'est

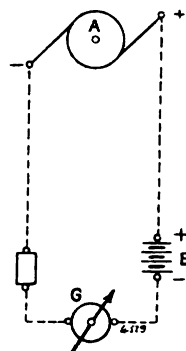


Fig. 8.

encore pas suffisante, à cause du manque de sensibilité des appareils à courants alternatifs.

Il faut donc s'en tenir aux machines à courant continu et corriger d'une autre manière les ondulations perturbatrices propres à la machine.

A l'assemblée générale de la Société des Electriciens Allemands (1), j'ai indiqué un procédé qui présente une très grande sensibilité, et permet d'éviter les erreurs dues aux ondulations de la machine ; il consiste à prendre à chaque instant la force électromotrice à l'aide d'un appareil à tracer les courbes, utilisant le principe du contact instantané de Joubert. Le procédé est schématisé dans la figure 9 qui ne se distingue de la figure 8 que parce que l'indicateur (2) J est inséré dans le circuit. Cet indicateur, relié à l'arbre de la machine à essayer, ferme le circuit d'un galvanomètre, une fois par tour et pour une position bien déterminée de la manivelle de la machine motrice ; le galvanomètre prend une élongation proportionnelle à la valeur instantanée de la tension et par suite de la vitesse au moment considéré. Si on modifie la place des balais, le contact se produit à un autre moment, correspondant à une autre valeur de la vitesse angulaire. On peut donc tracer par points la courbe des vitesses instantanées. Ce procédé, complété par l'emploi de la compensation, donnerait une très grande précision, si les variations de la durée d'un tour ne venaient pas encore exercer leur influence perturbatrice. En effet, les vitesses instantanées sont variables à chaque tour, et en fait, la tension n'est pas constante, mais au contraire, continuellement variable. Pour corriger ce défaut, on a préconisé le montage de la figure 10, grâce auquel on peut tenir compte des variations de la durée d'un tour. Le circuit de la dynamo A est fermé par deux résistances élevées W_1 et W_2, aux extrémités desquelles on crée deux circuits dérivés. Au moment de la fermeture du circuit par l'indicateur J, on compense, en se réglant par le galvanomètre G, la contre-tension E, par la chute de tension due à W_1; la chute de tension due à W_2 compense de même la tension E_2 et on règle à l'aide du galvanomètre G_2 qui ne doit pas avoir une trop faible période d'oscillation et qui doit être apériodique. Le galvanomètre G_2 n'agit par suite que lorsque le nombre de tours, ou pour mieux dire, la durée d'un tour varie. Si on s'astreint à ne faire de lecture au circuit I que lorsque le galvanomètre du circuit II est au 0, toutes les observations se trouvent faites au même instant de la rotation. Il faut deux expérimentateurs et il est évidemment nécessaire d'éliminer, par un essai préalable, les irrégularités provenant de la construction de la dynamo. Ce procédé est vraisemblablement le seul qui puisse convenir, même pour des coefficients d'irrégularités faibles, de l'ordre de 1/200, et être susceptible de précision.

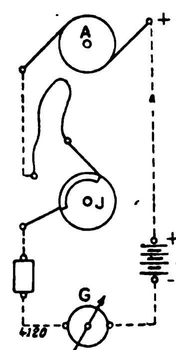


Fig. 9.

La figure 11 représente une courbe de vitesse relevée par ce procédé. Elle se rapporte à un coefficient d'irrégularité artificiel d'environ 1/130, obtenu en fixant dissymétriquement un poids sur la poutre d'un électromoteur qui commandait la dynamo. Sur cette courbe, on pourrait marquer les points de repère suivants : D, poids horizontal, descendant ; 90°, poids en haut ; 180°, poids horizontal, ascendant ; 270°, poids en bas.

Pour « poids en haut », on reconnaît nettement l'irrégularité causée par un choc qui se produisait à chaque tour contre le palier dans le sens de l'axe. La plus grande vitesse ne s'observe pas pour la position la plus basse du poids, mais un peu plus tard seulement, c'est là une particularité propre à l'électromoteur et due à la force contre-électromotrice et à la self-induction.

Cette courbe est le résultat de quatre séries d'essais qui ont donné beaucoup de mal et se sont poursuivies pendant près d'une semaine.

On peut donc se rendre compte que cette méthode ne peut encore convenir dans la pratique ; elle exige une grande patience de la part de l'expérimentateur.

Les méthodes de la classe 3 ne rendent donc pas ce qu'on était en droit d'attendre. Mes

(1) *Elektrotechnische Zeitschrift*, 1899.

(2) Voir l'article précédent pour la description de cet indicateur.

recherches m'autorisent à penser que la mesure des coefficients d'irrégularité inférieurs au 1/100 constitue une impossibilité dans l'état actuel de notre outillage technique.

Si donc toutes les études faites en vue de découvrir un moyen pratique de déterminer le coefficient d'irrégularité n'ont été suivies que d'insuccès, je serais heureux qu'elles aient, au moins, comme résultat, de détourner les autres d'essais difficiles, coûteux et ne présentant pas de chances de réussite.

Nous voyons donc que l'électricien et le mécanicien n'ont pas encore enterré la hache de la

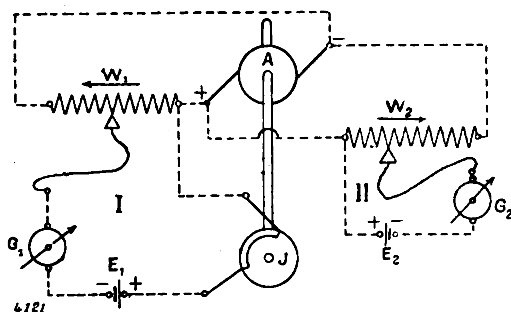


Fig. 10.

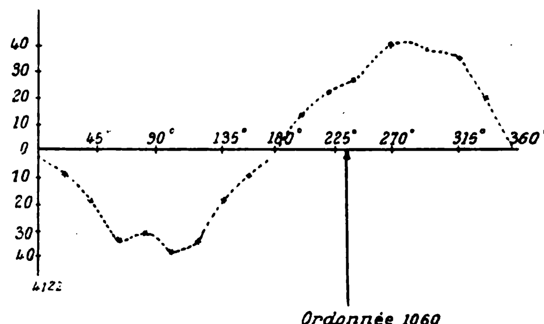


Fig. 11.

guerre, car la question de la détermination du coefficient d'irrégularité reste non résolue. Peut-être sommes-nous en état d'aplanir la difficulté d'une autre manière.

III. — Si nous nous demandons qu'elle est l'importance du coefficient d'irrégularité pour l'électricien, nous serons conduits, à deux points de vue, à limiter le coefficient d'irrégularité à un certain minimum ; d'abord il faut diminuer les variations ou mieux les pulsations de la lumière dans les installations d'éclairage, et, en second lieu, permettre une bonne marche en parallèle des machines à courants alternatifs.

En ce qui concerne la première considération, je me reporterai à une communication de M. le professeur Triese (1) à l'Assemblée générale de la société des Ingénieurs Allemands, dans laquelle il expose que les pulsations de la lumière varient suivant la sixième puissance de la tension et que par suite, l'influence du coefficient d'irrégularité est, dans certains cas, très sensible. Triese a remarqué que la sensibilité des personnes, par rapport aux variations de lumière, augmente avec leur intelligence ; et aussi, ajouterai-je, avec leurs connaissances professionnelles, de même qu'avec leur nervosité qui, malheureusement, est le plus souvent liée à l'intelligence. D'après ses expériences, Triese conclut qu'un coefficient de 1/200 est très bon et que celui de 1/65 n'est déjà plus supportable.

L'exemple des moteurs à gaz prouve que les coefficients d'irrégularité de 1/80 à 1/120 conviennent bien pour l'éclairage, et ne sont jamais trouvés désagréables. Pour cette raison, il serait, en toutes circonstances, inutile de descendre au-dessous de 1/200 ; on peut donc fixer cette valeur comme la plus petite admissible pour l'éclairage, alors que la plupart du temps 1/100 suffit déjà.

L'importance du coefficient d'irrégularité est toute autre, en ce qui concerne la marche en parallèle des alternateurs, pour lesquels l'apparition des phénomènes pendulaires est directement liée au coefficient d'irrégularité. Je renverrai à ce sujet aux travaux anciens de Boucherot (2), Blondel (3), Hutin et Leblanc (4), et plus récemment de Kapp (5), Benischke (6) et Görges (7).

(1) *Zeitschrift des Vereines Deutscher Ingenieure*, 1899, n° 39.
(2) *Lumière Électrique*, t. XLV.
(3) *Lumière Électrique*, t. XLV et XLVI.
(4) *Lumière Électrique*, t. XLVI.
(5) *Elektrotechnische Zeitschrift*, 1899, n° 7.
(6) *Elektrotechnische Zeitschrift*, 1899, n° 50.
(7) *Elektrotechnische Zeitschrift*, 1900, n° 10.

Au point de vue de l'accouplement des alternateurs, nous avons à distinguer les deux cas suivants :

1° Une machine possédant de l'irrégularité travaille en parallèle avec une machine sans irrégularité (par exemple sur un réseau à potentiel constant).

2° Deux machines possédant de l'irrégularité marchent en parallèle l'une avec l'autre.

Dans les deux cas, on observe des phénomènes pendulaires, c'est-à-dire la naissance de courants de compensation qui augmentent d'abord pour diminuer ensuite et ces phénomènes, dans certaines circonstances, amènent un décrochage complet de la machine. Le coefficient d'irréguliarté de la machine motrice est la cause des oscillations que présente également l'alternateur de part et d'autre de sa position moyenne de mouvement et qui ont la période de l'irrégularité. De ce fait proviennent, entre les courbes de tension des machines, des différences de phase qui doivent être regardées comme la cause des courants de compensation. Nous avons donc, avant tout, à tenir compte des phénomènes d'interférence qui proviennent des oscillations qui ont pris naissance. Mais si en outre l'une des machines possède la propriété de revenir à sa position moyenne de mouvement lorsqu'elle s'en est écartée, c'est-à-dire si elle présente en outre des oscillations propres, ces dernières peuvent se trouver renforcées, dans certaines circonstances, par les variations qui se produisent fatalement dans l'irrégularité. Nous avons alors affaire à des phénomènes de résonance ; ce sont la plupart du temps les plus dangereux. La possibilité des oscillations propres des alternateurs résulte du moment d'inertie de la partie tournante et des forces d'attraction. Celui-là dépend de la construction seule de la machine, les forces d'attraction proviennent de l'action alternative du champ magnétique et de l'induit l'un sur l'autre, et leur grandeur est par suite fonction de l'excitation et de la charge. On a déjà cherché différents moyens de calculer *a priori* les oscillations propres des machines (voir les travaux cités plus haut), et en particulier le professeur Görges a donné une méthode tout à fait complète. Dans tous ces travaux, on n'a malheureusement pas tenu compte des parties de la machine motrice en mouvement alternatif, lesquelles sont évidemment reliées aux autres organes en mouvement et participent à leurs oscillations. Comme le moment d'inertie de la machine ne peut se calculer à cause de cela, et que, d'autre part, on ne peut tenir compte de l'élasticité du gaz ou de la vapeur contenus dans le cylindre de la machine motrice, je me rallie à l'avis de M. le D[r] Benischke, d'après lequel le calcul de la période d'oscillation d'un alternateur est une impossibilité. Les phénomènes de résonance dépendent beaucoup moins de la grandeur de l'irrégularité que de la concordance entre les périodes de l'irrégularité et des oscillations propres de la machine, et l'expérience a montré que des machines, aussi bien à faible qu'à grand coefficient d'irrégularité, se couplent très bien en parallèle. Une augmentation du moment d'inertie ne constitue un remède contre la résonance que quand la période de l'oscillation propre se trouve avantageusement modifiée. Très souvent, c'est l'inverse qui convient; une diminution du moment d'inertie donne la solution, à moins qu'on ne veuille employer d'autres moyens : bobines de self-induction, amortisseur Le Blanc, etc.

L'expérience a montré, en outre, qu'il est extrêmement difficile de mettre en parallèle des alternateurs directement couplés avec des moteurs à gaz, et on en donne pour raison le coefficient d'irrégularité élevé des moteurs à gaz. Si on réfléchit que dans les moteurs à gaz, le nombre de tours, ou plutôt la durée d'un tour — j'y ai particulièrement insisté dans la première partie de ma communication — varie par suite de l'irrégularité des différentes explosions, donc de l'irrégularité de l'afflux de puissance, de telle sorte que, parmi les machines travaillant en parallèle, tantôt l'une, tantôt l'autre prend de l'avance, il est clair qu'il y a là surtout un phénomène d'interférence dont le coefficient d'irrégularité est la moindre cause.

On s'exagère souvent l'importance du coefficient d'irrégularité pour tous les phénomènes d'interférence, comme le montre la réflexion suivante : Les courants de circulation qui se manifestent entre deux machines par suite du coefficient d'irrégularité, tendent à accélérer la machine qui présente du retard, et à freiner celle qui présente de l'avance. Si d'un côté nous munissons les machines de volants lourds en vue d'atteindre un coefficient d'irrégularité aussi faible que possible, nous empêchons, de l'autre, les machines de suivre l'action des courants de circulation et par con-

séquent de se régler l'une l'autre, car l'accélération ou le freinage d'aussi grosses masses n'est pas possible.

Nous voyons donc que l'emploi de volants lourds peut aussi avoir une influence perturbatrice sur la marche en parallèle des alternateurs. Ceci s'applique également au cas où il se produit dans la charge d'une machine des variations dont la seconde machine ne peut prendre sur le champ sa part à cause de son trop grand moment d'inertie.

Il faut encore considérer que la vitesse avec laquelle l'organe de distribution de la machine motrice subit l'influence du régulateur est d'autant plus faible que le volant de la machine est plus grand, c'est-à-dire le réglage automatique d'une installation de cette nature devient dans les mêmes conditions d'autant plus difficile sinon franchement impossible.

D'après les différents cas indiqués ici, on peut se rendre compte que l'on peut vraisemblablement assurer la mise en parallèle des alternateurs avec des coefficients d'irrégularité assez grands : 1/100, jusqu'au maximum 1/200. L'expérience sera encore pour cela le meilleur maître. Les électriciens seraient, je crois, très reconnaissants aux constructeurs de faire connaître leurs expériences dans cet ordre d'idée, mais de ne donner de renseignements que sur les installations qui présentent ou ont présenté des difficultés pour la mise en parallèle, car ce sont de celles-là seules qu'on peut tirer un enseignement et non de celles qui fonctionnent bien.

Pour conclure, je voudrais résumer brièvement les résultats de mes recherches :

1. Dant toute machine qui présente de l'irrégularité, il se manifeste aussi des variations de la durée d'un tour, variations qui souvent ont plus d'importance que l'irrégularité elle-même ;

2° La détermination de coefficients d'irrégularité inférieurs à 1/100 est pratiquement impossible ;

3° Il est inutile pour l'électricien d'exiger des coefficients d'irrégularité plus faibles que 1/200, l'expérience a montré et confirme de plus en plus qu'on se tire d'affaire avec des coefficients d'irrégularité encore plus grands. Il en résultera un double avantage : machines moins chères et réglage meilleur.

Je m'estimerais heureux si j'avais pu apporter quelque contribution à la solution de ces importants problèmes.

Dr Rudolf Franke.

SUR LES PROCÉDÉS DE MESURE

DES COEFFICIENTS D'IRRÉGULARITÉ ET ÉCARTS ANGULAIRES MAXIMUM

I. — Le développement de l'emploi des alternateurs a conduit les électriciens à se préoccuper des irrégularités de vitesse des machines motrices, ces irrégularités donnant lieu à des difficultés, d'une part dans l'accouplement en parallèle des alternateurs à cause des mouvements pendulaires que prennent ceux-ci, d'autre part dans l'exploitation des réseaux par suite de la présence d'harmoniques venant s'ajouter à l'onde fondamentale. Soumise à l'examen de la première section, présidée par M. Leblanc, du Comité de la Société internationale des électriciens, cette question a été l'objet de la part de MM. Leblanc, Boucherot, David, Loppé, etc., d'importants et intéressants travaux dont quelques-uns ont été communiqués à la séance de la Société des électriciens de mercredi dernier 6 novembre. L'article de M. Franke reproduit ci-dessus montre que cette même question n'a pas été délaissée en Allemagne.

Il y a environ six mois, sur la demande de M. Guilbert, nous avons nous-même apporté une modeste contribution à son étude en recherchant les procédés convenables pour mesurer le coefficient d'irrégularité et l'écart angulaire maximum. Cette recherche nous a conduit à quelques considérations que nous nous proposons de résumer dans cet article.

II. — Définissons d'abord les grandeurs qu'il s'agit de mesurer :

1° *Coefficients d'irrégularité.* — Du fait de la variation de l'effort moteur de la vapeur et de la variation de l'angle de la bielle avec la manivelle, l'arbre de la machine prend, *pendant la durée d'un tour*, des vitesses angulaires oscillant entre une valeur maximum Ω_{max} et une valeur minimum Ω_{min} ; on appelle *coefficient d'irrégularité pendant un tour* le quotient

$$k = \frac{\Omega_{max} - \Omega_{min}}{2\Omega}, \qquad (1)$$

Ω désignant la vitesse angulaire moyenne pendant ce tour [1].

Mais en raison de l'élasticité des pièces conduites par la machine, ainsi que des légers défauts de centrage des pièces dont la vitesse angulaire est sous-multiple de celle de l'arbre principal, cette irrégularité de la vitesse pendant un tour doit nécessairement causer une légère différence dans les durées de deux tours consécutifs. En d'autres termes, à la variation périodique de la vitesse pendant la durée d'un tour doit s'ajouter une nouvelle variation, périodique sans doute, mais de plus longue période. En admettant la périodicité [2] de cette dernière variation, la variation résultante des deux sera elle-même périodique et nous avons à considérer un nouveau coefficient d'irrégularité

$$k' = \frac{\Omega'_{max} - \Omega'_{min}}{\Omega'},$$

Ω' étant la vitesse angulaire moyenne de l'arbre pendant la durée, égale à la longue période, d'un certain nombre n de tours, Ω'_{max} et Ω'_{min} les valeurs maximum et minimum de la vitesse angulaire pendant cette durée ; nous l'appellerons *coefficient d'irrégularité pendant* n *tours*.

2° *Angles d'écart maximum.* — Si nous supposons une manivelle idéale accomplissant, d'un *mouvement uniforme*, un tour entier dans le même temps que la manivelle réelle accomplit un tour d'un *mouvement varié*, les deux manivelles formeront à chaque instant un angle variable entre zéro et une valeur maxima θ. C'est cet angle θ qui est appelé *angle d'écart maximum pendant un tour.*

Nous pouvons admettre aussi que la manivelle idéale accomplisse d'un mouvement uniforme *n* tours pendant le temps que la manivelle réelle met à accomplir ces *n* tours d'un mouvement varié, *n* étant le nombre de tours correspondant à la période des variations lentes ; nous aurons encore un angle maximum θ' entre les directions des deux manivelles et nous appellerons cet angle, angle d'écart maximum pendant *n* tours.

Au point de vue électrique l'angle d'écart maximum a plus d'importance que le coefficient d'irrégularité. Ces deux quantités dépendent d'ailleurs évidemment l'une de l'autre, mais la fonction qui les relie peut être fort compliquée [3], la variation de la vitesse angulaire entre sa valeur minima et sa valeur maxima pouvant elle-même être fort complexe. La connaissance de l'une de ces quantités ne peut donc, en général, permettre d'évaluer l'autre. Toutefois il convient de remarquer que s'il était possible de connaître à chaque instant la valeur de la vitesse réelle, le coefficient angulaire s'en déduirait immédiatement et, par suite, l'angle d'écart maximum par une intégration. Le procédé de mesure le meilleur sera donc celui qui fournira la valeur instantanée de la vitesse.

---

[1] Dans l'article ci-dessus, M. Franke prend comme dénominateur la vitesse angulaire moyenne, et par conséquent obtient pour le coefficient d'irrégularité une valeur double de celle définie par la relation (1). Sur la proposition de M. Potier, la première section du comité de la Société internationale des Électriciens a adopté la formule (1). D'ailleurs cette définition cadre mieux que celle de M. Franke avec la définition de l'écart angulaire maximum.

[2] D'après M. Franke il existerait des cas où cette variation n'est pas périodique ; ces cas nous paraissent devoir être exceptionnels.

[3] D'après les recherches de M. David, la relation est fort simple pour des machines monocylindriques : elle est en effet $\theta = 32k$ pour les machines étudiées par cet ingénieur (Voir *Écl. Élect.*, t. XXVIII, p. 463) ; mais c'est là un cas particulier qu'il ne faudrait pas généraliser.

III. — Occupons-nous maintenant de ces procédés. Nous les classerons dans l'ordre même où nous les avons examinés pour nous rendre compte de leur exactitude et de leur sensibilité : les procédés mécaniques, acoustiques, électriques et optiques ([1]).

1° *Procédés mécaniques.* — La plupart sont basés sur le principe suivant : Inscrire ou observer le mouvement relatif d'un organe participant au mouvement irrégulier de la machine, par rapport à un second organe animé d'un mouvement connu, soit périodique, soit de rotation uniforme.

a. Le mouvement périodique le plus facile à réaliser est celui d'un diapason vibrant; aussi a-t-il été utilisé par de nombreux expérimentateurs avec des dispositifs variés. L'un de ces dispositifs consiste à fixer sur l'arbre de la machine un manchon recouvert d'un papier enfumé sur lequel s'appuie un style inscripteur attaché à l'une des branches du diapason ; si on on laisse fixe le diapason, l'inscription ne peut durer que pendant un tour de l'arbre ; en le déplaçant parallèles ment à l'axe de rotation, on peut inscrire pendant plusieurs tours successifs ; avec ce dispositif, les déplacements longitudinaux de l'arbre donnent lieu à des variations notables de l'amplitude des tracés correspondant aux oscillations du diapason, variations qui augmentent la difficulté déjà grande des mesures à faire sur ces tracés. Dans un autre dispositif, on peut fixer sur l'arbre un disque ayant son plan perpendiculaire à l'axe de cet arbre ; on recouvre ce disque d'un papier enfumé et on appuie sur lui le style du diapason dont les branches vibrent parallèlement au plan du disque ; si le diapason est maintenu dans la même position, la durée de l'inscription ne peut dépasser celle d'un tour ; le déplacement du diapason du centre à la périphérie du disque permet d'inscrire pendant plusieurs tours ; les mouvements longitudinaux de l'arbre n'ont plus alors d'influence sur l'amplitude des tracés, mais pour éviter que le disque, dans sa rotation, ne déforme le style inscripteur, le diapason doit être maintenu à une distance constante du disque ; on y parvient en fixant le diapason sur un axe muni d'un levier recourbé qu'un ressort appuie constamment contre le disque ([2]).

Quel que soit le dispositif adopté, le relevé des mesures se fait de la manière suivante : après avoir fixé le tracé (en y projetant du vernis avec un vaporisateur et laissant sécher), on détermine avec soin l'intervalle qui sépare les traits correspondant à deux oscillations successives du diapason et l'on a ainsi une quantité proportionnelle à la valeur de la vitesse au moment où s'est effectuée l'oscillation considérée. On peut donc alors tracer un diagramme polaire donnant la vitesse de l'arbre pendant un ou plusieurs tours.

Bien que ce procédé ait fourni des résultats satisfaisants à quelques expérimentateurs habiles, son exactitude est des plus problématiques. Pour apprécier un coefficient d'irrégularité de 1/200 avec une erreur de 10 p. 100, il faudrait, en effet, pouvoir mesurer la longueur d'un intervalle à un millième près ; or, avec une machine faisant 90 tours par minute, un diapason faisant 200 vibrations par seconde et un manchon ou disque de 50 cm de diamètre, la distance moyenne entre deux traits n'est que de 11 mm ; il faudrait donc pouvoir mesurer cette distance à moins de 1/100 de millimètre.

b. Dans les autres procédés, le mouvement auquel on rapporte le mouvement irrégulier de la machine est un mouvement de rotation uniforme. Généralement, ce dernier est obtenu en entraînant, au moyen de la machine elle-même, par frottement ou accouplement élastique, un disque, un cylindre ou un volant ayant un grand moment d'inertie. En raison de son inertie, ce dernier organe doit prendre une vitesse constante égale à la vitesse moyenne de la machine.

Quant au second organe, il est porté directement par la machine ou lui est lié par accouplement aussi rigide que possible ([3]).

([1]) Dans l'article précédent, M. Franke les classe d'après la nature de la grandeur qu'ils déterminent.

([2]) Voir dans l'article de M. Franke la description de quelques-uns de ces dispositifs.

([3]) Dans son article, M. Franke décrit divers dispositifs de ce genre d'appareils de Aichele, de Schæfer et Budenberg, de Göpel et de Franke (p. 245 et suiv.). Un dispositif du même genre a été décrit récemment dans ce journal (t. XXIX, p. L) ; à ce propos rectifions une coquille : au lieu de « A côté du volant est monté *ou* sur l'arbre », lire « *fou* sur l'arbre ».

L'exactitude de ces procédés est certainement encore inférieure à celle des précédents. Non seulement les mesures faites sur les tracés ne peuvent avoir de précision à moins de donner aux cylindre, disque ou volant de l'appareil des dimensions exagérées, mais encore la régularité du mouvement de ces organes auquel on rapporte celui de la machine est moins satisfaisante qu'avec un diapason, les défauts de centrage des pièces tournantes amenant des variations de vitesse. D'ailleurs la vitesse moyenne prise par ces pièces ne peut être que la vitesse moyenne de la machine pendant plusieurs tours, de sorte que l'on ne peut avoir les quantités k et θ qui correspondent à un tour. D'une manière générale les dispositifs préconisés pour la mise en pratique de ces procédés ne permettent pas la solution complète du problème.

2° *Procédés acoustiques.* — En voici le principe : produire un son dont la hauteur soit à chaque instant proportionnelle à la vitesse de la machine à ce même instant et évaluer à l'oreille les variations de hauteur.

Par exemple, on dispose une roue dentée sur l'arbre et l'on appuie le biseau d'une carte contre la roue.

Il est bien évident que tout procédé de cette nature manque de sensibilité : une oreille exercée éprouvant déjà quelque difficulté à apprécier un intervalle de un comma (1/80), sera absolument incapable de percevoir des variations de 1/200.

3° *Procédés électriques.* — N'ayant pas cru trouver dans les procédés mécaniques et acoustiques une sensibilité et une exactitude suffisantes, nous avions songé à utiliser les variations de force électromotrice qui accompagnent toute variation de vitesse d'une machine électrique.

Le dispositif le plus simple basé sur ce principe consiste à caler sur l'arbre de la machine l'induit d'une petite dynamo à courant continu et à envoyer son courant dans l'un des enroulements d'un galvanomètre différentiel dont l'autre enroulement est parcouru par un courant compensateur réglé de façon à maintenir l'équipage galvanométrique au repos dans l'hypothèse d'une vitesse constante de la dynamo ; toute variation de cette vitesse produirait une déviation de l'appareil galvanométrique proportionnelle à cette variation.

Dans un autre dispositif, les deux enroulements formaient les primaires d'un transformateur différentiel à secondaire unique relié à un voltmètre très sensible ; ce dernier instrument eût indiqué de la même façon que le galvanomètre les variations de vitesse ; ce dispositif nous paraissait avoir sur le précédent l'avantage de permettre d'augmenter autant qu'on le désirerait la sensibilité de la méthode.

Nous avons toutefois abandonné l'idée d'avoir recours à un procédé électrique, pour trois raisons : 1° les variations qu'ils nous décèlent se rapportent non pas à la vitesse moyenne pendant un tour, mais à la vitesse moyenne pendant n tours [1] ; 2° la commutation et les défauts de symétrie inévitables des enroulements de la dynamo nous paraissaient pouvoir donner lieu à des variations de force électromotrice du même ordre de grandeur que celles résultant des variations de vitesse ; 3° enfin, comme la self-inductance produit dans les circuits traversés par des courants alternatifs exactement le même effet que l'élasticité dans les accouplements mécaniques, il était certain que les procédés électriques ne pouvaient avoir plus d'exactitude que les procédés mécaniques dans lesquels l'organe d'enregistrement est lié à la machine par un accouplement élastique [2], en

[1] On a vu comment M. Franke a habilement éliminé cette difficulté, mais les deux autres causes d'erreurs que nous indiquons subsistent dans le dispositif qu'il emploie.

[2] Aux procédés électriques se rattache un procédé imaginé par M. Claude et que celui-ci se proposait de présenter à la dernière séance de la Société des Électriciens. L'heure tardive à laquelle ont été terminées les communications portées à l'ordre du jour ne lui ayant pas permis de faire cette présentation, M. Claude nous a remis la note suivante qu'il avait rédigée à ce sujet :

« Messieurs, j'ai envisagé une autre solution du problème qui vous est soumis, et je désirerais vous en dire quelques mots.

» Je me suis proposé de rendre visible à chaque instant ce que j'appellerai le *balancement* du volant expérimenté par rapport à un volant idéal se déplaçant uniformément.

» Pour cela, appliquons contre la jante du volant une roue de bicyclette. En raison de la faible inertie de la roue et de la parfaite adhérence du caoutchouc, en raison aussi du peu d'importance des fluctuations de la vitesse angu-

d'autres termes que les variations de mouvement ou de vitesse de l'organe indicateur de l'appareil ne pouvait reproduire qu'avec une déformation plus ou moins grande les variations correspondantes de l'arbre menant la dynamo.

4° *Procédés optiques.* — Il ne restait donc à utiliser que des procédés optiques. Ces procédés sont d'ailleurs de plusieurs sortes et, suivant leur nature, permettent de déterminer soit l'angle d'écart maximum, soit la vitesse instantanée de rotation.

a). Le procédé qui vient immédiatement à l'esprit pour évaluer l'angle d'écart maximun dans le cas d'un alternateur à inducteurs mobiles consiste à examiner à travers une fente mobile un faisceau lumineux fixe passant entre les pièces polaires de la couronne inductrice ; si le mouvement de l'alternateur est bien uniforme et si le mouvement de la fente est réglé de manière que cette fente se trouve toujours exactement dans la même position quand les milieux des intervalles des pièces polaires passent par la direction d'un même rayon, la couronne inductrice paraîtra immobile; si, au contraire, la vitesse de rotation de l'alternateur oscille entre une valeur maximum et une valeur minimum, l'image rétinienne éprouvera des balancements entre deux positions extrêmes et l'écart angulaire entre ces positions extrêmes apparentes donnera le double de l'angle d'écart maximum. C'est, comme on le voit, l'application de la méthode stroboscopique utilisée aujourd'hui si souvent dans les usines électriques pour reconnaître le synchronisme des mouvements de deux alternateurs dont les axes sont dans le prolongement : un des alternateurs examiné à travers les intervalles des pôles de l'autre paraît immobile si les deux alternateurs sont en synchronisme.

On pourrait reprocher à ce dispositif de ne s'appliquer qu'au cas, le plus intéressant pour les électriciens il est vrai, où la machine motrice conduit un alternateur ; on pourrait encore lui reprocher de ne donner que l'écart angulaire maximum des pièces polaires et non celui de l'arbre de la machine, qui peut être fort différent en raison de l'élasticité des bras qui relient la couronne polaire à l'arbre. Mais il est évident qu'il suffit de fixer sur l'arbre un disque percé de fentes

---

laire, le mouvement de la roue reproduit fidèlement toutes les fluctuations du mouvement du volant, et la valeur *angulaire* du balancement qu'il s'agit de mesurer est évidemment amplifiée dans la roue de bicyclette dans le rapport du diamètre du volant à celui de la roue, soit 10 à 15 fois, ce qui est de nature à faciliter de beaucoup les mesures.

» Sur l'axe de la roue est calé un petit moteur. Inducteurs et balais tournent dans l'espace à une vitesse variant suivant les cas de 600 à 1200 tours par minute. Supposez que j'envoie dans le moteur un courant convenable pour faire tourner l'induit en sens contraire de la roue de bicyclette et à une vitesse égale. L'*induit* sera alors immobile dans l'espace, ainsi que l'index que nous y aurons fixé. Il sera immobile, aux fluctuations de la vitesse près, de sorte que l'index prendra un mouvement de balancement qui sera précisément — amplifié dans le rapport des diamètres — le balancement cherché.

» Remarquez que la mesure ne serait pas aussi délicate qu'on le pourrait craindre d'après ce qui précède. Il est inutile de maintenir la vitesse relative de l'induit rigoureusement égale à celle de la roue. Faisons-là croître progressivement à l'aide d'un rhéostat approprié et nous verrons l'index tourner de moins en moins vite pour s'arrêter à un instant donné et repartir en arrière dès que la vitesse relative de l'induit dépassera celle de la roue : or, pendant toute la période voisine du point de rebroussement, le déplacement de l'index sera assez lent pour que nous le voyions animé du mouvement de balancement caractéristique dont il sera aisé d'apprécier la valeur.

» M. Blondin m'avait objecté que le passage des balais d'une lame à l'autre du collecteur pourrait me gêner beaucoup. Effectivement, à chaque passage, la position de l'induit tend à subir une brusque modification de sorte que l'index prendrait de ce fait un mouvement de balancement qui se superposerait au premier et fausserait les résultats. Mais réflexion faite, il me semble que si l'inertie de l'induit immobile lui permet de suivre le balancement relativement lent du volant — qui se fait à raison de 4 ou 5 oscillations par seconde — elle devra s'opposer absolument à un mouvement oscillatoire qui comporterait, avec 30 lames au collecteur et 20 tours de roue par seconde, 600 oscillations par seconde. Le mouvement de balancement dû au volant subsisterait donc seul et la mesure pourrait se faire.

» Sinon, on pourrait encore arriver au résultat à l'aide d'un champ tournant à vitesse réglable, créé par un petit moteur auxiliaire muni d'un volant assez lourd pour que la vitesse de rotation du champ soit parfaitement uniforme.

» Je livre mon idée pour ce qu'elle vaut, espérant qu'on pourra arriver à en tirer parti. »

Si élégante que soit la solution proposée par M. Claude elle ne supprime pas les première et troisième causes d'erreurs que nous indiquons.

radiales et éclairé par derrière, ou encore un disque divisé et éclairé par devant, pour rendre le procédé applicable à la détermination de l'écart angulaire maximum de l'arbre d'une machine quelconque.

Pour obtenir le mouvement de la fente à travers laquelle on regarde, nous avons, comme dans les procédés mécaniques, deux moyens : ou bien fixer aux extrémités des branches d'un diapason entretenu électriquement deux petits écrans percés chacun d'une fente, ou bien faire tourner d'un mouvement uniforme devant la machine un disque percé de fentes radiales. Lequel convient le mieux ?

Au point de vue de l'exactitude, les deux se valent.

D'après les renseignements fournis par MM. Cornu et Lippmann, qui se sont beaucoup servis de la méthode stroboscopique, l'irrégularité du mouvement d'un diapason entretenu électriquement est inférieure à 1/2000 et permet par suite d'apprécier à un dixième près un coefficient d'irrégularité de 1/200. Celle du mouvement d'un disque sur l'arbre duquel est calé un lourd volant, peut être rendue encore plus faible si l'on donne au volant un moment d'inertie suffisant. Toutefois, pour la commodité des mesures, le disque tournant vaut mieux que le diapason. Il convient en effet de pouvoir modifier à volonté et très lentement la rapidité du mouvement de la fente pour l'amener à la valeur correspondant à la vitesse moyenne de la machine. A moins de prendre des diapasons réglables de Koenig, qui sont assez peu répandus, cette modification ne peut se faire pour les diapasons ordinaires qu'en déplaçant à la main les masses de réglage fixées sur les branches du diapason ; en outre, la variation que l'on peut ainsi obtenir est assez faible, de sorte qu'il faudrait changer de diapason suivant la machine à essayer. Un disque avec volant commandé par un petit moteur électrique à excitation réglable à volonté pourrait au contraire prendre des vitesses variables très lentement entre de larges limites.

Un point restait encore à élucider : En raison de la grande rapidité avec laquelle change la vitesse d'une machine, l'œil pourrait-il suivre les balancements de l'image rétinienne qui en résulte ? La réponse à cette question ne pouvait être fournie que par l'expérience. Or, celle-ci donne une réponse affirmative : M. Cornu, dans ses expériences sur la vitesse de la lumière, a eu l'occasion d'observer par la méthode stroboscopique des balancements résultant d'un jeu d'engrenages se reproduisant sept fois par seconde ; de son côté, M. Lippmann a constaté des balancements semblables dans ses déterminations de l'ohm et il s'en servait pour apprécier la régularité du mouvement de ses appareils.

La méthode stroboscopique est donc susceptible de donner avec exactitude l'écart angulaire maximum. Mais il ne faut pas oublier, d'une part, que c'est l'écart maximum pendant la durée de la période des oscillations les plus lentes de la machine et non l'écart maximum pendant la durée d'un tour ; d'autre part, qu'on ne peut déduire la valeur du coefficient d'irrégularité de celle de l'angle d'écart maximum.

b. Pour avoir la solution complète de la question, il convient donc de modifier le dispositif optique.

Plaçons sur l'arbre de la machine un disque percé de fentes radiales ; disposons par derrière une source lumineuse envoyant un faisceau à travers l'une d'elles et recevons ce faisceau à sa sortie de la fente, sur un miroir tournant animé d'une vitesse de rotation bien uniforme (1) ; le faisceau dessinera sur un écran une courbe lumineuse dont les abscisses seront proportionnelles au déplacement angulaire du miroir tournant et, par conséquent, au temps et dont les ordonnées seront proportionnelles au déplacement angulaire du disque. Si celui-ci et par conséquent la machine tournent d'un mouvement bien uniforme, les courbes correspondant à chacune des fentes seront identiques ; dans le cas contraire, elles différeront et si l'on inscrit photographiquement ces courbes, l'étude de leurs différences permettra de calculer la vitesse angulaire instantanée de la machine. C'est, sous une autre forme, le procédé appliqué par Lissajous pour reconnaître de faibles différences dans la période de deux diapasons vibrants et les expériences faites par ce

(1) Voir la figure 7 de l'article de M. Franke.

physicien indiquent que l'on peut avoir toute confiance dans la sensibilité du procédé ; on conçoit d'ailleurs que plusieurs dispositifs puissent être employés pour le réaliser.

c. Mais pour rendre le procédé pratique, il convient que les courbes ne soient photographiées que lorsque, d'une part, le miroir tournant aura pris une vitesse convenable et que, d'autre part, la machine aura un mouvement tel que la durée d'un tour soit, sinon absolument constante, du moins extrêmement peu variable.

L'emploi simultané du procédé stroboscopique et du procédé d'inscription optique permet de satisfaire à cette double condition : Le miroir de l'appareil d'inscription étant lié par engrenages au disque à fentes de l'appareil stroboscopique, nous règlerons la vitesse de l'ensemble jusqu'à ce que l'observation stroboscopique nous montre des balancements bien réguliers et bien symétriques de la machine ; un déclanchement découvrira alors la plaque photographique et la mettra en mouvement (1).

Divers dispositifs permettraient de réaliser ces conditions. Le choix ne peut en être fixé que par des considérations de facilité de construction et d'emploi. Nous en laissons le soin aux constructeurs d'appareils de précision, notre but, pour le moment du moins, étant seulement de montrer qu'il existe une solution satisfaisante du problème de la détermination expérimentale du coefficient d'irrégularité et de l'angle d'écart maximum.

J. Blondin.

REVUE INDUSTRIELLE ET SCIENTIFIQUE

ACCUMULATEURS

Accumulateur Carl Stoll. Brevet allemand n° 122 147, du 25 octobre 1900. *Centralblatt f. Accumulatoren- und Elementenkunde*, t. II, p. 239, 1er septembre 1901.

Cet accumulateur se distingue par son montage spécial. Les électrodes sont ici suspendues

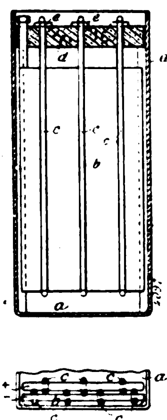


Fig. 1 et 2. — Accumulateur Carl Stoll.

au moyen d'anneaux ou de bandes élastiques dont les extrémités supérieures traversent le couvercle du vase et sont maintenues par dessus celui-ci à l'aide de chevilles. En même temps, les bandes élastiques servent à isoler l'une de l'autre les électrodes voisines.

La disposition employée est représentée par les figures 1 et 2. Les plaques *b* sont entourées de bracelets de caoutchouc *c* dont l'extrémité supérieure passe par une ouverture du couvercle *d*. Les ouvertures sont choisies aussi petites que possible, de façon à être remplies complètement par le brin double de caoutchouc. L'extrémité du bracelet dépassant le couvercle est écartée à nouveau et reçoit ainsi une cheville *e* qui maintient le bracelet. On peut aussi se servir d'une seule cheville pour tous les bracelets d'une même plaque.

Le bloc d'électrodes forme ainsi un ensemble élastique qui est insensible aux secousses.

L. J.

Machine Albert Gould pour le découpage des grilles d'électrodes d'accumulateurs. Brevet allemand n° 121 457 du 3 juin 1899. Brevet anglais n° 647 249 du 10 avril 1900. *Centralblatt f. Accumulatoren- und Elementenkunde*, t. II, p. 212.

Cette machine, destinée à découper les grilles,

(1) C'est en somme la méthode qu'applique M. Franke avec des procédés électriques.

comporte une paire de rouleaux pourvus chacun de couteaux découpeurs parallèles qui, pénétrant dans la surface des plaques de plomb, les coupe par suite de leur rapide rotation suivant des filets ou côtes présentant des gorges intermédiaires.

La plaque ainsi fabriquée possède une âme qui doit avoir l'épaisseur déterminée et être égale en tous points. Il est par conséquent nécessaire que les couteaux pénètrent toujours à égale profondeur dans la plaque et qu'ils se tiennent exactement en regard. A cet effet, un dispositif mécanique permet le rapprochement ou l'éloignement des cylindres découpeurs aussi bien horizontalement que verticalement.

Une particularité importante du système consiste à prévoir les moyens d'éviter autant que possible la déviation ou flexion des couteaux quand ils pénètrent dans la plaque. On emploie dans ce but des rondelles interposées entre les couteaux sur les rouleaux, en leur donnant un diamètre suffisant pour qu'elles viennent exactement en contact avec la plaque lorsque les couteaux sont complètement entrés dans cette plaque.

Pour obtenir une plaque présentant plusieurs sections découpées et séparées par des côtes transversales intermédiaires, on prévoit un certain nombre de paires de rouleaux découpeurs opérant simultanément.

La figure 1 ci-contre montre une vue en élévation de la machine. La figure 2 est une coupe suivant la ligne *aa* ; et la figure 3 représente la coupe d'une plaque fabriquée avec cette machine. Le bâti 1 est pourvu de cadres-supports 2 dans lesquels glissent horizontalement les paliers à coussinets 3 pour les rouleaux découpeurs 44'. Les paliers 55', dans lesquels tourillonnent les rouleaux, sont disposés pour glisser verticalement dans le support 3.

Le dispositif pour mouvoir les rouleaux comprend des pignons 26 engageant avec des crémaillères verticales 27 27' sur les coussinets respectifs 5 5', ces pignons tourillonnant dans les supports de coussinets latéraux 3 3 et connectés ensemble par des bras oscillants 28 et des articulations 28', de manière que les deux extrémités des rouleaux découpeurs se meuvent simultanément. L'un des bras oscillants 28 est connecté par une tige d'accouplement 29 au mécanisme d'actionnement. Celui-ci, commandé à la main, est entraîné mécaniquement. Il comprend un engrenage de réduction 30 entraîné par l'arbre principal, puis une vis hélicoïdale 31 qui commande la roue d'engrenage 32. Une manivelle 33 et une articulation 29 actionnent le bras oscillant 28. Enfin l'accouplement réversible 35, muni de la poignée 36, permet la marche dans un sens ou dans l'autre. Un ressort 37 est interposé dans cette connexion d'actionnement et est placé entre un collier 29' sur la tige 29 et une bague à rotation 28'' qui glisse sur la tige 29 et est connectée à pivot au bras 28.

Fig. 1.

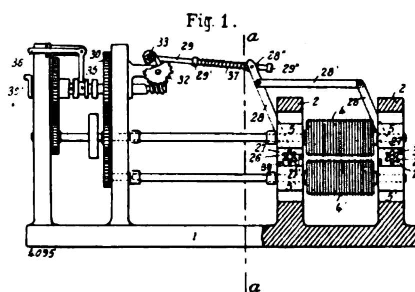


Fig. 2.

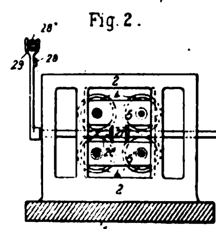


Fig. 3.

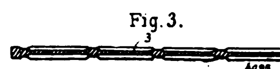


Fig. 1 à 3. — Machine Gould.

Un collier d'arrêt 29'' peut servir à entraîner le bras 28 en arrière dans le mouvement arrière de la manivelle. Ce mouvement arrière peut être effectué soit par la commande à la main de l'embrayage réversible, soit automatiquement après la course complète de la manivelle 33, lorsque celle-ci dépasse le point mort.

Le ressort 37 permet à la course complète du mécanisme, de s'effectuer, tout en déterminant une limite à l'approche des rouleaux par des dispositifs d'arrêts appropriés, tels que des blocs d'échappement 38 interposés entre les coussinets 5 5', l'épaisseur de ce bloc d'espacement déterminant l'espacement de la nervure qui doit être laissée dans la plaque, entre les couteaux

découpeurs. Le ressort 37 empêche également tout endommagement des couteaux qui pourrait résulter en forçant ces derniers à pénétrer trop rapidement dans le métal.

Chacun des rouleaux 4 4′ comprend des couteaux découpeurs parallèles consistant en disques de feuilles métalliques séparées par des rondelles de diamètre suffisant pour venir en contact avec la plaque brute lorsque les lames du couteau ont pénétré complètement dans cette plaque. De cette façon, les couteaux sont supportés latéralement et protégés contre une déviation ou flexion.

Pour préserver, en outre, les couteaux contre un déplacement latéral, on a prévu, entre les couteaux découpeurs, des doigts arrivant très près de la plaque, séparant ainsi les lames coupantes et les guidant lorsqu'elles pénètrent dans la plaque. Ces doigts ont aussi pour but d'enlever les particules de crasse ou déchets de métal qui peuvent rester sur les couteaux. Montés rigidement sur un arbre oscillant muni d'une manivelle, ils peuvent être mis facilement hors d'action pour leur nettoyage.

Cette machine peut servir au gaufrage par découpage des plaques de toute forme. Lorsqu'on veut une plaque avec rebords, comme celle de la figure 3, il est préférable de la fondre avec ces rebords, le restant de la plaque étant uni. On la dispose alors sur le chariot monté entre les bâtis 2, de façon à amener sa surface entre les rouleaux 4 4′. Le chariot étant ensuite fixé par un dispositif d'arrêt, on met la machine en mouvement au moyen de la poulie principale attaquée par courroie, de manière à produire la rotation des rouleaux. Le réglage de ceux-ci est alors effectué à l'aide de l'accouplement 36 qui provoque le rapprochement graduel. En même temps, on met également en fonctionnement à la main le mécanisme produisant le va-et-vient des rouleaux qui découpent le plomb suivant une forme côtelée ou gaufrée (fig. 3) tout en laissant une âme centrale.

Dans cette opération, il n'y a aucune portion de métal perdue ou enlevée de la plaque, mais la matière qui provient des parties entaillées est relevée en bords intermédiaires de telle façon que ceux-ci se trouvent un peu au-dessus de la surface de la plaque et donnent ainsi en ces points une épaisseur un peu plus grande que celle du cadre de la plaque.

Comme on le voit en figure 2, la machine possède deux jeux de rouleaux découpeurs agencés pour travailler simultanément sur deux sections de la plaque.

Réducteur automatique George Jacoby. Brevet allemand n° 122 502 du 21 mars 1900. *Centralblatt-Accumulatoren-und Elementenkunde*, t. II, p. 250. 15 septembre 1901.

La figure 1 montre une coupe horizontale et la figure 2 une vue en élévation de l'appareil. La figure 3 représente la roue de contact et la figure 4 un schéma de la disposition.

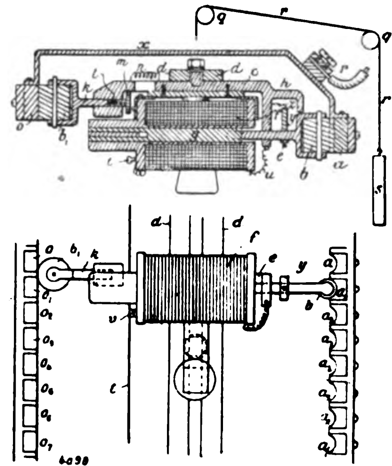


Fig. 1 et 2.

Les surfaces de contact *a* et *o* en communication avec les éléments sont placées en regard, mais avec un décalage, de telle sorte que lorsqu'une des roues *b*, par exemple, est en contact avec la surface correspondante, l'autre b_1 repose sur la couche isolante qui sépare deux surfaces voisines. Les roues de contact sont établies sur un dispositif de traîneau qui comprend une bobine, placée en dérivation sur la canalisation, solidement établie sur une bride de support *c* et isolée des roues de contact *b* b_1. Le support *e* de la roue de contact *b* traverse la bride *c* et est fixé solidement au noyau de fer *g* qui se trouve à l'intérieur de la bobine *f*. Le jeu de ce noyau est juste suffisant pour permettre à la roue *b* de quitter la profondeur d'un des contacts pour glisser sur la couche isolante et arriver au contact suivant.

En dehors de la bride *c*, le support *e* est muni d'un anneau *y* qui est relié à cette bride à l'aide d'un ressort spirale *z* isolé.

De l'autre côté, la roue b_1 est munie du support k qui peut se déplacer dans la bride par l'intermédiaire du ressort l réglable à volonté au moyen de la vis m. De ce côté les surfaces de contact et isolantes sont situées sur un même plan. Le ressort l a comme simple but d'assurer un bon contact des parties conductrices; une résistance n également placée de ce côté empêche l'établissement de court-circuits entre deux éléments voisins. Les deux contacts cor-

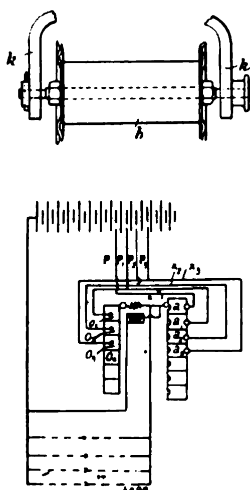


Fig. 3 et 4.

respondants sont reliés électriquement par la connexion x et le courant arrive des éléments par les conducteurs p.

L'enroulement de la bobine f est relié d'un côté, en u, directement à la bride c pendant qu'à l'autre côté est fixé un contact glissant v qui reste, pendant le déplacement, en communication constante avec le conducteur t relié à l'autre pôle de la batterie.

Tout l'appareil est mobile et suspendu sur les poulies q par une corde ou une chaîne r à à l'extrémité de laquelle est fixé le contrepoids s.

Le fonctionnement de ce réducteur est le suivant : le courant, partant d'un pôle de la batterie, passe par le conducteur t, le contact glissant v pour traverser l'enroulement de la bobine f, puis la bride c et arriver ainsi par un des contacts b ou b_1 aux surfaces a ou o reliées par la connexion x et le conducteur p à l'autre pôle de la batterie.

Supposons que le contact a soit sur le premier élément de réduction, et que la tension du réseau baisse d'une certaine quantité. La bobine f n'étant plus traversée par un courant suffisant, l'attraction du noyau de fer g n'est plus suffisante pour équilibrer la tension du ressort z. Celui-ci rappelle alors, par l'intermédiaire de la bague y et du bras e, la roue b du fond du contact a et tout le mécanisme descend par glissement sur les rails d. Dans ce mouvement, le contact b_1 vient d'abord en contact avec la surface o_1 et un deuxième élément de réduction est mis en circuit par la connexion x_1 et le conducteur p_1. A ce moment la roue b n'a pas encore quitté le contact a, de sorte que le premier élément de réduction serait en court-circuit par $p\,a\,b\,c\,b_1\,o_1\,x_1\,p_1$ si on n'avait pas pris la précaution de disposer une résistance n dans la bride c.

Dès que la roue b a quitté le contact a, la bobine f est placée en dérivation sous une tension supérieure, le circuit se fermant maintenant par o_1 sur le deuxième élément de réduction. L'attraction du noyau de fer est alors redevenue suffisante pour vaincre à nouveau la tension du ressort z. L'ensemble du système continue son mouvement de descente jusqu'à ce que la roue b soit entrée dans le creux du contact a_1 par lequel passe maintenant le courant pendant que la roue b_1 repose sur la partie isolante.

Quand la tension baisse à nouveau d'une quantité suffisante, les mêmes actions se répètent. Le mouvement est entravé par un arrêt placé sur les rails d lorsque le dernier élément de réduction a été introduit dans le circuit.

L. J.

DIVERS

Contribution à l'étude des courants de la bobine d'induction par **K. R. Johnson** *Dr. Ann.* IV, p. 722-734, avril 1901.

M. Johnson a trouvé dans ses recherches décrites antérieurement [1] que la résistance de l'étincelle secondaire d'une bobine d'induction devait être comprise entre 100 et 1000 mégohms. D'après les hypothèses de Hertz, au contraire, cette résistance ne devrait pas dépasser quelques ohms.

Il considère un oscillateur formé d'un condensateur $K_1\,K_2$, de capacité γ dont les armatures

[1] *L'Écl. Élect.*, t. XXVI, p. 393, 16 mars 1901.

sont reliées à des boules P_1 P_2 entre lesquelles éclate l'étincelle de la bobine; la capacité des boules est γ_1, la capacité totale C_1 : le coefficient d'induction propre de chacune des moitiés est I_1, leur résistance R_1. Le résonateur a une capacité C_2; l'induction propre de chacune de ses moitiés est I_2, leur résistance R_2 : le coefficient d'induction mutuelle du résonateur sur l'oscillateur est μ_1 pour chaque moitié.

Dans le cas particulier où $C_1 R_1 = C_2 R_2$ et où les deux circuits sont en résonance, l'indication de l'électromètre relié aux extrémités du résonateur est indépendante de la distance du résonateur à l'excitateur.

Si la condition

$$\frac{L_1}{L_2} = \frac{C_2}{C_1} = \frac{R_1}{R_2}$$

est remplie, on doit pouvoir observer l'effet d'induction jusqu'à une distance infinie.

L'auteur rapproche cette conclusion théorique des expériences faites avec la télégraphie sans fil et aussi sur les lignes télégraphiques et téléphoniques.

Dans ces lignes les courants sont très faibles, il ne se produit pas d'étincelle de rupture, susceptible d'amortir les ondes et en fait, les ondes provoquées par la rupture du courant peuvent être enregistrées à des distances très grandes si le récepteur est en résonance avec le transmetteur.

M. L.

Sur la vibration électrique d'un conducteur cylindrique, par **F. Kiebitz**. *Dr. Ann.* t. V, p. 872-905, août 1901.

Un excitateur rectiligne de Hertz, terminé ou non par des plaques émet, à côté de l'onde fondamentale, des ondes supérieures, de période plus courte.

M. Kiebitz a déterminé la période et l'amortissement de ces ondes.

Pour déterminer la période, il fait agir les ondes sur un résonateur de dimensions variables contitué par un cercle de cuivre qui se prolonge par deux fils parallèles : sur ces parallèles on fait glisser un pont. A l'autre extrémité du diamètre parallèle à ces fils, le cercle est interrompu. On constate la résonance par l'observation soit des étincelles secondaires entre les extrémités du cercle, soit d'un résonateur de Righi ou d'un tube de Zehnder relié à ces extrémités. Cette méthode permet seulement de déceler les premières ondes supérieures.

Pour aller plus loin, on construit, après avoir déterminé la longueur l du résonateur qui répond à l'onde fondamentale une série de résonateurs de longueurs $\frac{l}{h}$ pour toutes les valeurs de h de 8 à 21. On trouve que dans une position où l'un des résonateurs de longueur $\frac{l}{h}$ correspondant à une valeur paire de h ne donne aucune étincelle, le résonateur $\frac{l}{h+1}$ donne des étincelles très nettes. On met ainsi en évidence que l'excitateur rectiligne sans plaques terminales émet des ondes supérieures formant une série d'harmoniques impairs, dont on peut déceler jusqu'au 8e.

M. Kiebitz a construit d'après les données expérimentales ce que M. Abraham appelle les lignes nodales de la première vibration supérieure, l'accord entre l'expérience et la théorie est assez imparfait, ce que M. Kiebitz attribue à des perturbation expérimentales.

Lorsque l'excitateur est terminé par des plaques, les vibrations supérieures cessent d'être harmoniques.

Des courbes de résonance construites suivant la méthode de Bjerknes, il résulte que l'amortissement moyen de l'excitateur et du résonateur est d'autant plus grand que l'excitateur et le résonateur sont plus près l'un de l'autre. La construction de Bjerknes ne se vérifie que pour la région de la courbe de résonance voisine du maximum ; elle peut être employée aussi pour la première vibration supérieure. D'une manière générale, l'intensité des vibrations supérieures est beaucoup plus faible que celle de la vibration fondamentale.

Les valeurs de l'amortissement de l'excitateur pour la vibration fondamentale calculées par la théorie sont plus grandes que les valeurs observées, quand le résonateur est à une grande distance : pour la première vibration supérieure, les deux valeurs coïncident. Puisque l'amortissement calculé en tenant compte seulement du rayonnement est plus petit que l'amortissement observé, il faut en conclure que l'étincelle de l'excitateur a plus d'influence sur l'amortissement que le rayonnement.

Des expériences faites sur un résonateur rectiligne, il résulte que l'amortissement d'un tel

résonateur est beaucoup plus grand que celui d'un résonateur circulaire presque fermé.

Quelques expériences ont été aussi effectuées en mettant un cohéreur entre les extrémités du résonateur : il faut que l'excitateur et le résonateur aient même longueur de fil pour que la résonance se produise : le cohéreur se comporte donc comme un conducteur ou comme un condensateur de très grande capacité. M. L.

Sur les wattmètres à lecture directe; par **H. Armagnat.**

Sous ce titre a été publiée dans le numéro du 23 mars dernier (t. XXVI, p. 4451) une note de M. Armagnat dans laquelle s'est glissée une erreur à propos de laquelle l'auteur nous adresse la lettre suivante :

« Dans cette note, l'oubli du facteur de puissance, cos Φ, me fait dire que l'erreur *relative*, due à l'induction mutuelle entre les deux bobines du wattmètre, est constante et *indépendante de la réactance* du circuit sur lequel on fait la mesure.

» En réalité, c'est l'erreur *absolue* qui est *constante* et l'erreur relative doit s'écrire :

$$\varepsilon = \frac{-\omega^2 ML}{r} \frac{I}{E} \frac{1}{\cos \Phi}.$$

Cette erreur relative va donc en croissant quand cos Φ diminue, mais sa valeur est presque toujours négligeable devant l'erreur causée par la self-induction. La conclusion de la note reste donc entière. »

SOCIÉTÉS SAVANTES ET TECHNIQUES

SOCIÉTÉ INTERNATIONALE DES ÉLECTRICIENS

Séance du mercredi 6 novembre 1901.

L'ordre du jour de cette séance ne comportait pas moins de trois communications relatives à l'***Etude des mouvements des machines à vapeur*** (***coefficient de régularité***) ***et accouplement des alternateurs en parallèle***, et faites respectivement par MM. **Maurice Leblanc**, **David** et **Boucherot**. Une quatrième communication, non inscrite à l'ordre du jour, mais se rapportant également au même sujet, a été faite par M. **Cornu**.

M. Leblanc expose le programme des travaux que la première section du Comité a accomplis ou se propose d'accomplir; ce programme a été sommairement indiqué dans le numéro du 21 septembre de ce journal (p. 461).

M. David fait connaître l'étude très complète qu'il a faite de l'irrégularité de plusieurs machines à vapeur actionnant des pompes ou des dynamos à courants continus ou alternatifs. Il a déterminé les coefficients d'irrégularité, d'une part par le calcul au moyen des diagrammes de pression de vapeur relevés sur ces machines, d'autre part expérimentalement par l'examen des courbes tracées par un diapason sur un disque enfumé, calé sur l'arbre de la machine; les valeurs obtenues par ces deux procédés concordent d'une manière très satisfaisante eu égard aux difficultés que présente la détermination expérimentale. Une partie des résultats de l'étude de M. David a été signalée dans le numéro du 21 septembre de ce journal (p, 463); nous compléterons ces renseignements lorsque la communication de M. David aura été publiée.

M. Boucherot examine la question au point de vue électrique. Comme c'est l'angle d'écart maximum qui présente le plus d'importance dans le cas d'alternateurs conduits par des machines à vapeur, le conférencier a cherché quelle relation lie cet angle au coefficient d'irrégularité de la machine; dans ce but il a analysé non moins de 28 diagrammes de moteurs à vapeur; en outre il s'est placé successivement dans l'hypothèse où le groupe électrogène travaille isolément sur un circuit résistant sans self inductance (lampes à incandescence) et celle où l'alternateur travaille en parallèle sur un réseau à self inductance. Le travail fort important de M. Boucherot demande d'être analysé avec quelque détail; comme pour celui de M. David, nous y reviendrons lors de sa publication inté-

grale dans le *Bulletin de la Société internationale des électriciens*.

M. Cornu montre combien la méthode stroboscopique peut être utile pour la détermination de l'angle d'écart maximum. Grâce à la complaisance de M. Pellin, il est parvenu, entre la réunion du lundi 4 novembre du Comité de direction de *L'Eclairage Electrique*, où la question avait été posée, et la séance de la Société des Électriciens, soit en moins de 48 heures, à réaliser un dispositif montrant très nettement le phénomène dû à une variation périodique de l'angle d'écart et un autre dispositif permettant la mesure de la variation maximum.

Dans le premier de ces dispositifs une bague tournant autour d'un axe vertical et percée de deux rangées de trous est interposée entre une lanterne de projection et un écran. Les trous de l'une des rangées ont été percés en montant la bague sur le mandrin d'un tour et faisant tourner le mandrin de 20° pour passer d'un trou au suivant; ces trous, au nombre de 18, sont donc régulièrement espacés. Pour percer ceux de la seconde rangée la bague a été décentrée par rapport à l'axe du tour et pour passer d'un trou au suivant on a encore fait tourner le tour de 20°; on a donc encore obtenu 18 trous, mais non régulièrement espacés. L'écart angulaire entre les rayons aboutissant aux centres de deux trous voisins appartenant à l'une et l'autre rangée varie suivant une loi sinusoïdale; augmentant de 0° à un maximum d'un peu plus de 3°, puis diminuant depuis cette valeur jusqu'à la valeur 0° et repassant ensuite une nouvelle fois par ces mêmes valeurs. Les trous de la première rangée donnent sur l'écran, lorsque la bague tourne, une série de taches lumineuses, le centre de ces taches se trouvant toujours dans le plan vertical déterminé par la direction du faisceau lumineux et celle de l'axe de rotation. Ceux de l'autre rangée donnent encore une série de taches, mais leurs centres se trouvent tantôt à droite, tantôt à gauche de ce plan; il en résulte un balancement très net de ces taches par rapport aux taches fixes données par la première rangée.

Le dispositif destiné à la mesure de l'angle d'écart d'une machine motrice se compose de la bague percée de trous régulièrement espacés et d'un disque percé d'un nombre égal de fenêtres, tournant d'un mouvement uniforme autour d'un axe perpendiculaire à celui de la machine motrice; un faisceau lumineux, partant de l'axe de la bague (ce qu'on réalise en plaçant un prisme à reflexion totale suivant cet axe et recevant la lumière d'une source placée à 90° du plan normal à l'écran passant par cet axe), traverse successivement quelques-uns des trous et quelques-unes des fenêtres et vient tomber sur un écran. Si la bague et le disque ont exactement le même mouvement, les taches lumineuses se superposent sur l'écran et, par suite de la persistance des impressions lumineuses sur la rétine, paraissent fixes. Si, au contraire, les deux mouvements ne sont pas identiques, les taches lumineuses se déplacent ; en particulier, si le mouvement du disque est uniforme et celui de la bague périodique, les taches éprouvent un balancement dont on peut déduire l'angle d'écart maximum. L'inscription sur un papier photographique se déplaçant perpendiculairement à la direction du balancement, permettrait d'avoir la variation de l'écart angulaire en fonction du temps.

Il est à remarquer que la bague doit être parfaitement centrée sur l'arbre, un défaut de centrage produisant un écart angulaire périodique entre le faisceau lumineux traversant les trous et le diamètre correspondant de l'arbre. Or, en éclairant la bague par une source lumineuse placée derrière elle par rapport à l'écran et supprimant le disque à fenêtres, c'est-à-dire en revenant au premier dispositif, ce défaut de centrage se trouvera accusé par le déplacement des taches. L'appareil peut donc être très facilement et très exactement réglé.

Dans l'expérience faite en séance, la bague était montée sur un axe vertical, le disque sur un arbre horizontal; bien que le mouvement leur fût donné tout simplement en les lançant à la main, les balancements des images étaient très apparents et se maintenaient très réguliers pendant plusieurs secondes. De ces résultats obtenus dans des conditions particulièrement mauvaises, il est donc permis d'espérer que la méthode stroboscopique permettra de résoudre le problème de la détermination expérimentale de l'angle d'écart maximum et même de la variation de l'angle d'écart avec le temps.

J. B.

Le Gérant : C. NAUD.

Tome XXIX. Samedi 23 Novembre 1901. 8e Année. — N° 47.

L'Éclairage Électrique

REVUE HEBDOMADAIRE DES TRANSFORMATIONS

Électriques — Mécaniques — Thermiques

DE

L'ÉNERGIE

FREINS DYNAMOMÉTRIQUES

A ACTIONS MAGNÉTIQUES ET ÉLECTROMAGNÉTIQUES (1)

IV. Frein de Feussner. — Deux modèles de ce frein étaient exposés à l'Exposition Universelle par la « Reichanstalt » allemande (2).

Le professeur Feussner signale que le frein électromagnétique est le seul instrument de précision que l'on possède pour la mesure de la puissance et il justifie, par la considération suivante, l'intérêt que peut avoir un constructeur à connaître à 1 p. 100 près le rendement d'une machine, afin de pouvoir chercher à modifier cette machine en vue d'en accroître le rendement, ne serait-ce que de peu de chose : si le rendement d'un moteur s'élève de 1 p. 100, c'est que les pertes diminuent d'environ 10 p. 100; par ce fait, la limite de puissance de la machine se trouve avantageusement reculée, puisque les pertes se traduisent en chaleur.

L'un des appareils exposés était indiqué comme ayant pour capacité limite 0,2 cheval, le second, 10 chevaux. Le plus petit a été construit il y a dix ans; dans l'autre, beaucoup plus récent, on a perfectionné quelques points et on a pu arriver par là à une capacité beaucoup plus importante.

Le premier est représenté dans la figure 11. Le système magnétique se compose de quatre courts électro-aimants disposés par paires à une faible distance et de part et d'autre de

(1) Voir *L'Éclairage Électrique* du 9 novembre, p. 189.

(2) Conférence du professeur Feussner à la Société des Électriciens allemands, 23 avril 1901. Voir *E. T. Z.* 26 juillet 1901, p. 608. L'appareil a été signalé dans *L'Éclairage Électrique* par M. Armagnat. Voir *L'Éclairage Électrique*, t. XXIV, p. 332.

**

l'arbre et embrassant le disque : il est porté sur un long couteau. Le disque tourne entre deux paliers et peut être relié au moteur par un accouplement élastique; on pourrait également l'actionner par une lanière ou une courroie qui s'enroulerait sur l'une des poulies à gorge ou lisse que l'on aperçoit sur la photographie. Le courant arrive à l'électro-aimant par le couteau lui-même et sort par un petit conducteur en forme de ressort situé dans le prolongement de l'arbre. Le point d'appui du système est sur l'axe général, et l'ensemble peut pivoter très librement. A une distance de 10 cm de l'axe de rotation se trouve un second couteau sur lequel repose un plateau destiné à recevoir les poids pour la mise en

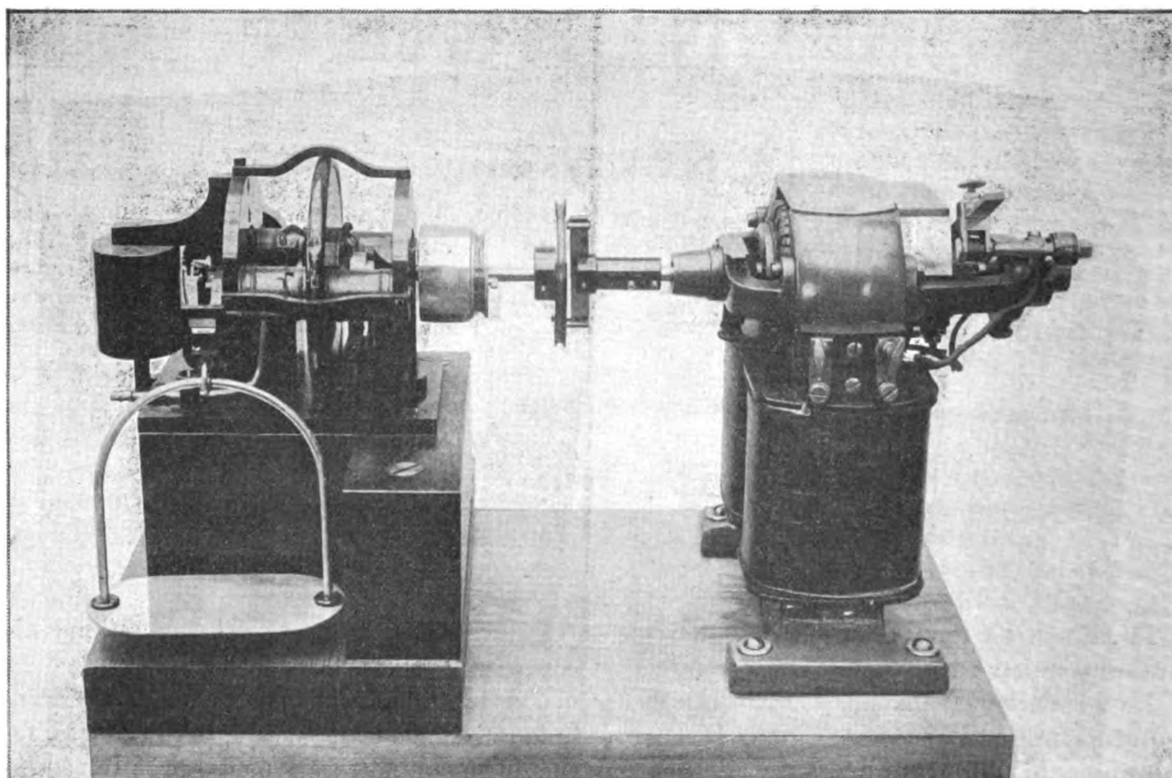


Fig. 11. — Petit frein Feussner.

charge du frein, le tout est équilibré par un contrepoids. A pleine excitation, il ne faut pas plus de 1 kg pour ramener le frein à sa position d'équilibre.

La figure 12 permet de se rendre compte des organes qui servent à la pesée : plateau de balance, aiguille et contrepoids. On y voit également les détails du dispositif employé pour refroidir le disque. Le disque n'est pas une pièce massive de cuivre, il est composé de deux demi-disques accolés et dont le profil a été étudié de manière qu'il reste un espace vide entre eux. Le moyeu du disque est renflé et est creusé d'un canal annulaire avec lequel le vide central est mis en communication. L'eau est amenée dans ce canal, la force centrifuge la rejette vers la périphérie du disque, laquelle est percée de petits trous par lesquels l'eau est chassée à l'extérieur dans une rigole appropriée.

Lorsque l'appareil sert pour des essais de peu de durée, le refroidissement artificiel est inutile; il devient indispensable si on veut maintenir à pleine charge pendant un temps notable la machine soumise à l'essai.

La mesure de la vitesse ne peut généralement pas, au moins pour le petit modèle, se faire par des tachymètres ordinaires, dont la plupart absorbent une puissance de l'ordre de grandeur de celle du moteur essayé. Aussi l'arbre du disque porte-t-il un dispositif de contacts à l'aide desquels on charge une fois par tour un condensateur que l'on décharge

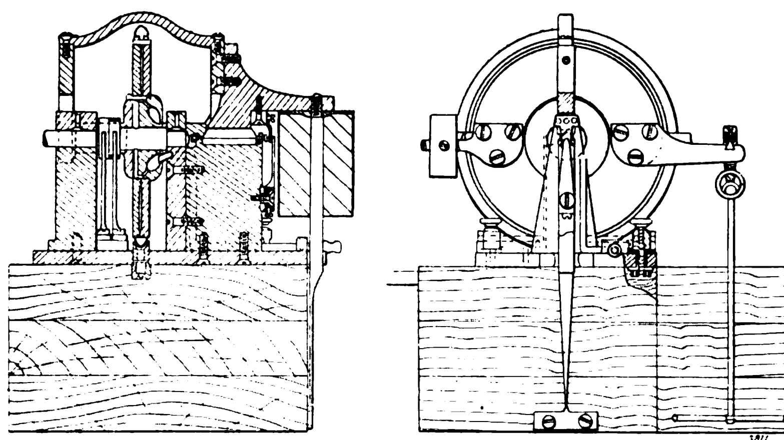


Fig. 12. — Plan et coupe du petit frein Feussner.

ensuite dans un galvanomètre balistique. L'élongation de ce dernier sert de mesure à la vitesse.

Au lieu de cet appareil, le professeur Feussner emploie un gyromètre de Braun, modifié sur ses indications et qui est représenté par la figure 13. Le gyromètre de Braun se com-

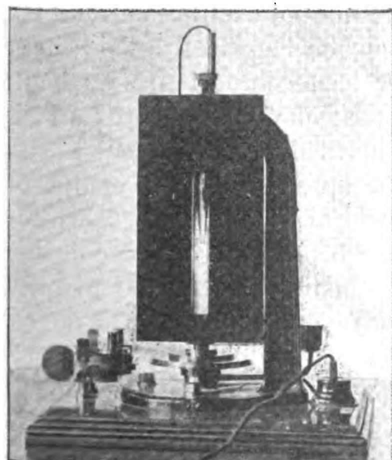


Fig. 13. — Gyromètre de Braun.

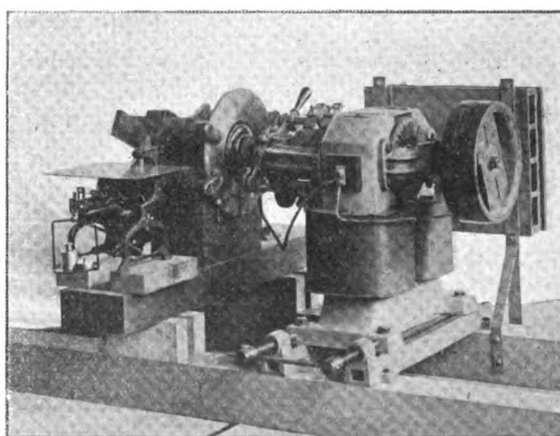


Fig. 14. — Grand frein Feussner.

pose essentiellement d'une ampoule de verre complètement fermée et dans laquelle se trouve de la glycérine : cette ampoule étant animée d'un mouvement de rotation autour de son axe, la surface du liquide devient une certaine surface de révolution et la position du plan tangent perpendiculaire à son axe de rotation est utilisée pour la mesure. L'ensemble tournant est guidé sur une hauteur relativement grande par un arbre fixe que soutient à sa partie supérieure un pivot à billes. Le graissage de ce pivot se fait d'une manière très

simple, on aperçoit d'ailleurs sur la figure le godet à huile. Le tube se détache dans une fenêtre percée au milieu d'un écran, et on éclaire par derrière.

Cet appareil absorbe, pour entretenir son mouvement, une puissance insignifiante, et dans des expériences faites au Reichanstalt, on a pu accuser par son emploi des variations de 1/300 dans la régularité d'une machine à 400 tours [1].

Le dispositif de balance de ce frein est sensible au 1/1000.

La figure 14 représente le grand modèle du frein de Feussner. Il constitue un perfectionnement du premier à deux points de vue : d'une part, afin de diminuer les frottements, on a supprimé les paliers du disque et monté ce dernier sur l'arbre du moteur, comme nous l'avons vu faire dans tous les autres appareils. En second lieu, le refroidissement du disque n'était pas sans présenter des défauts : l'eau prenait à l'intérieur une certaine accélération et le travail ainsi absorbé n'était pas accusé par la balance. Quand on réglait la venue d'eau de manière qu'elle s'échappe à haute température, le travail absorbé par la mise en mouvement de cette eau n'était pas perceptible ; il n'en était plus de même si on activait la circulation. Le trajet de l'eau de refroidissement a donc été modifié.

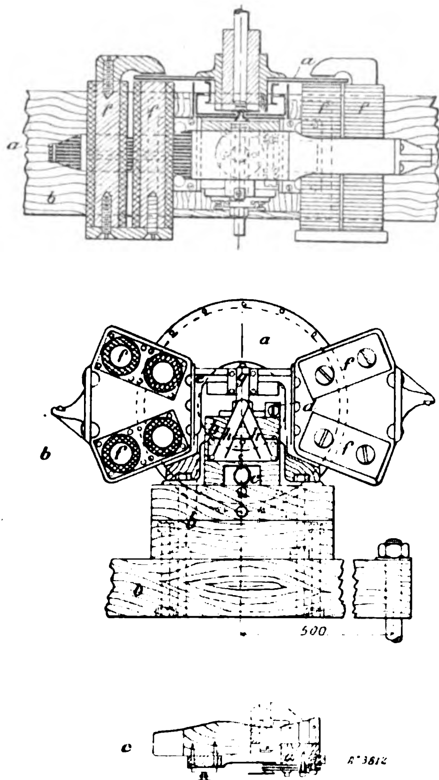


Fig. 15. — Plan et coupes du grand frein Feussner.

La figure 15 montre les détails de construction du grand modèle.

Le disque de cuivre est représenté en *a*; son moyeu est disposé de manière à pouvoir être monté sur tous les diamètres d'arbres; un solide bâti en chêne *b* soutient le couteau autour duquel oscille le circuit magnétique. On règle la hauteur de l'appareil à l'aide de cales; à l'aide de la vis *c*, la partie supérieure du bâti peut être déplacée vers l'avant ou vers l'arrière ; à l'aide de la vis *d* on peut faire mouvoir verticalement la suspension du système magnétique. Ce dernier comporte une pièce centrale en acier qui se prolonge à droite et à gauche par deux ailes de bronze sur chacune desquelles sont fixées deux paires d'électro-aimants. Chaque paire constitue un circuit magnétique complet et le noyau de l'électro extérieur vient se recourber jusque vis-à-vis du noyau voisin, de manière à embrasser le disque dans un faible entrefer. De part et d'autre, on a ajouté un couteau : à gauche, on peut suspendre un plateau de balance sur lequel on place les poids, tout comme dans le petit modèle. Le couteau de droite est tourné en sens inverse et il est commode de s'en servir pour faire pression sur le plateau d'une balance de Roberval ou d'une bascule.

Le disque est encore constitué de deux parties accouplées, mais des cloisons séparent le vide intérieur en six secteurs. Un secteur sur deux peut recevoir de l'eau de l'extérieur au moyen de trois canaux communiquant avec la cavité annulaire creusée dans le moyeu. Auprès de la périphérie, ces secteurs communiquent avec les trois secteurs qui, deux à deux, les encadrent et débouchent à leur tour à l'extérieur dans une enveloppe concen-

[1] Voir *Zeitschrift des Vereins deutscher Ingenieure*, 1893, p. 593.

trique à l'arbre. La circulation s'établit ainsi fort bien. La coupe que l'on voit au bas de la figure 15 est une coupe par l'axe vertical du frein et montre l'arrivée du courant au couteau.

V. Frein de Rieter. — La Société Industrielle de Mulhouse a accordé, le 25 avril 1900, à M. E.-H. Rieter Bodmer, une médaille d'honneur pour le frein dont nous allons maintenant nous occuper (¹).

Notre ami, J. Reyval, mentionnait récemment le régulateur de turbine que construit M. Rieter depuis quelques années déjà (²). Le frein électromagnétique est, sauf la suspension des inducteurs, de construction identique, et la figure 16 représente le premier modèle de ce frein. La figure 17 est la reproduction de la planche fournie par le constructeur à la Société Industrielle de Mulhouse.

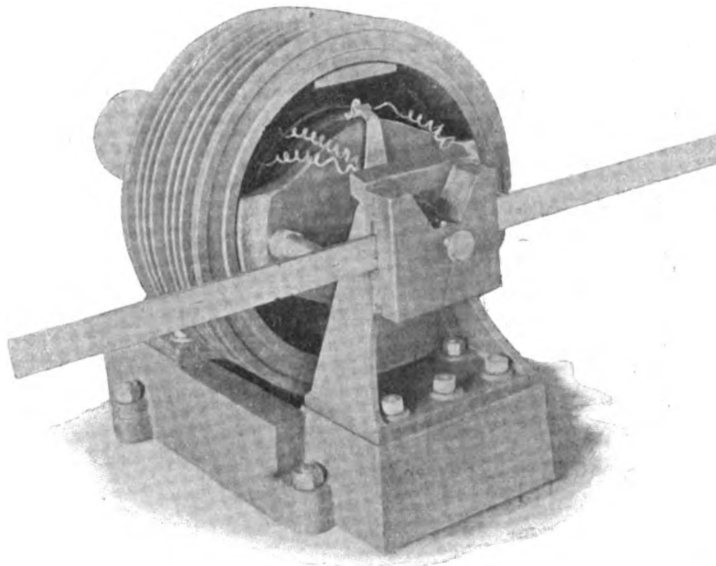


Fig. 16. — Frein Rieter.

La partie inductrice est analogue à celle d'un alternateur : elle est mobile autour d'un manchon fixe lié rigidement à un des paliers de l'appareil, et les roulements sont à billes. Autour de ces inducteurs tourne un anneau massif en acier, dont le mouvement de rotation est commandé par une poulie. La partie inductrice porte deux bras de levier gradués qui se prolongent d'environ 1 m de part et d'autre de l'axe de rotation ; sur chacun d'eux on peut faire coulisser un poids curseur. Le bras postérieur sert dans le cas où l'on mesure de grandes puissances ; on laisse alors un poids fixe quelque part sur ce levier et l'on met au point à l'aide du poids antérieur. Par exemple, M. le professeur Weber, pour les essais au delà de 22 chevaux, a disposé à poste fixe sur le levier postérieur, un poids de 29,30 kg à la division 74,65, et un poids de 15,15 kg à la division 64,5. La mise au point a été faite avec un poids de 13,80 kg. On juge de l'équilibre au moyen d'un fil à plomb.

(¹) A titre documentaire, nous rappellerons un énoncé du prix institué par la Société :

« Médaille d'honneur pour un frein électrique permettant de mesurer au cinquième de cheval près, une puissance de l'ordre de 20 chevaux. Le refroidissement devra se faire uniquement par l'air en contact avec la partie tournante.

« Le constructeur devra établir ce frein de manière à ce que le travail absorbé par le frottement de l'air soit négligeable, pour les mesures courantes, comparativement à la puissance à mesurer, tout en indiquant une formule permettant de calculer ce travail absorbé par frottement de l'air pour toutes les vitesses auxquelles le frein est susceptible de fonctionner ou, mieux, munir le frein d'un levier agissant dans le même sens que la force à mesurer, levier sur lequel glisse un poids dont la position est graduée empiriquement, de manière à éliminer le frottement par les différentes vitesses.

« Le frein devra avoir été essayé par une autorité compétente et les résultats de l'essai, ainsi qu'un dessin du frein, annexés au travail. »

C'est M. le docteur H.-F. Weber, le distingué professeur de Zurich, qui a effectué les essais prescrits.

(²) *L'Éclairage Électrique*, t. XXVII, p. 134.

Afin d'augmenter la surface extérieure qui doit dépenser la chaleur produite dans l'anneau d'acier, ce dernier porte à sa partie extérieure une rangée d'ailettes annulaires en tôle. Grâce à ce dispositif, l'échauffement reste toujours modéré.

Afin d'expérimenter l'appareil, M. le professeur Weber a comparé ses indications avec celles d'un dynamomètre à engrenages de Rieter parfaitement connu [1].

Le mode expérimental employé pour la lecture du bras de levier est celui qu'il convient toujours d'imiter; on détermine les deux positions des poids sur le levier, pour lesquelles ce dernier quitte sa position horizontale pour s'incliner vers le bas ou vers le haut et on prend la moyenne.

Les résultats des expériences sont représentés par la figure 18.

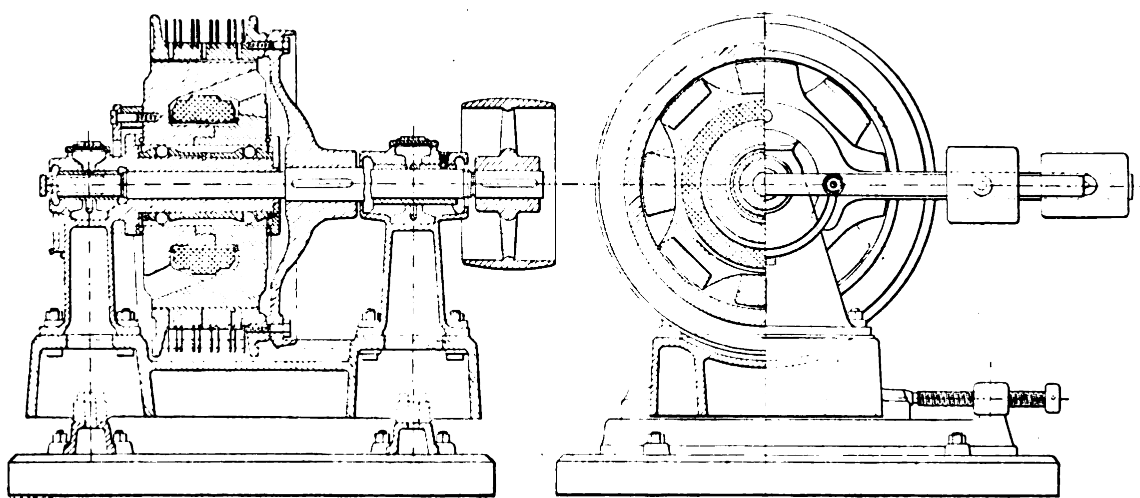


Fig. 17. — Coupes et élévation du frein.

Les courbes I et II se rapportent à 17 essais faits à une vitesse moyenne de 430 tours au dynamomètre; l'interruption que l'on remarque vers 13 chevaux provient de ce que l'on a fait à ce moment une expérience à vide et que, lorsqu'on a remis l'excitation, la vitesse était un peu remontée. La courbe III se rapporte à 7 essais effectués à une vitesse d'environ 600 tours. Les courbes I, II et III sont tracées en fonction du courant d'excitation et de la puissance totale absorbée par le frein.

La courbe IV représente les watts absorbés par l'excitation en fonction du courant d'excitation.

La figure 19 indique la puissance absorbée par le frein à vide en fonction du nombre de de tours par minute. M. le professeur Weber a trouvé que cette puissance pouvait être représentée par la formule

$$p = 0{,}00143\ N$$

p étant exprimé en chevaux et N en tours par minute.

La figure 20 représente la précision du dynamomètre exprimée en pour cent de la puissance absorbée. Cette précision est environ de :

1 p. 100 de 5 à 10 chevaux.
0,06 à 0,03 p. 100 de 10 à 20 chevaux,
0,03 à 0,02 p. 100 de 20 à 30 chevaux.

[1] Un dynamomètre de ce genre figurait à l'Exposition Universelle (Section Suisse, cl. 21, n° 22).

M. le professeur Weber fait remarquer que le frein Pasqualini ne donne pas de résultats plus précis. Le dernier modèle du frein Feussner donne une précision bien plus grande dans les limites de son emploi.

VI. — Il serait difficile d'étudier théoriquement, d'une manière complète, la marche

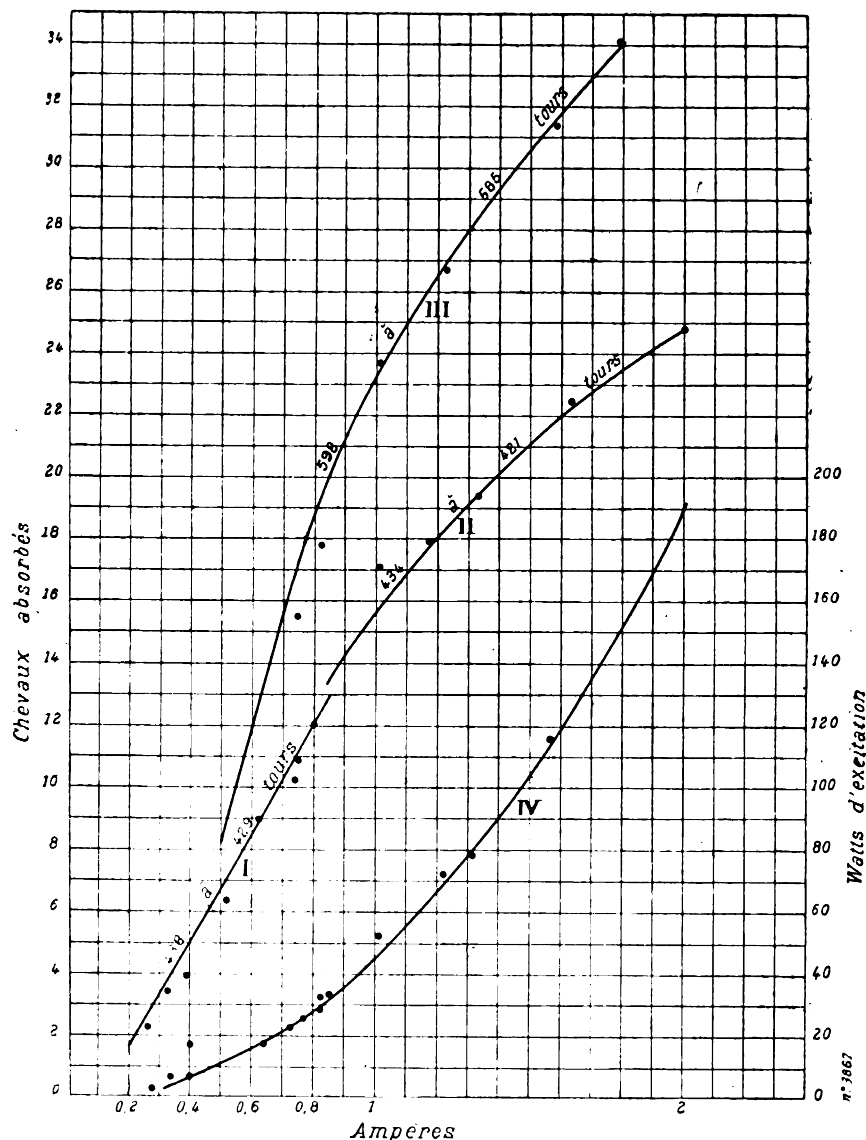


Fig. 18. — Frein dynamométrique Rieter. — Courbes des essais du professeur Weber.

d'un des freins que nous venons d'étudier. Nous n'y essaierons pas, et nous nous bornerons à tirer quelques indications de la formule générale du travail absorbé et des expériences exécutées sur les freins existants.

Si nous reprenons la comparaison du frein électromagnétique à disque non magnétique avec une dynamo, nous en déduisons que la puissance absorbée par cet appareil est représentée par la formule

$$P = N \Phi I,$$

N étant le nombre de tours par minute du disque,
Φ le flux coupé par le disque,
I le courant qui prend naissance dans le disque.

Φ est une fonction du courant d'excitation et croît avec ce dernier, suivant une loi qui n'est pas linéaire. Il en est de même du champ $\mathcal{H}$. Nous écrivons

$$\mathcal{H} = f(i). \qquad \Phi = k\, f(i).$$

Si l'on remarque que la force électromotrice développée par la rotation du disque, c'est-à-dire la variation de flux pendant l'unité de temps est proportionnelle au nombre de tours N, à la largeur radiale a de la projection d'un pôle d'électro-aimant sur le disque, et à la distance r du milieu de cette projection à l'axe de rotation, la loi d'Ohm indique que l'intensité I peut être considérée comme proportionnelle au nombre

$$\frac{\mathrm{N}\, r\, a\, \mathcal{H}}{\rho}$$

ρ étant la résistivité du métal du disque.

En résumé la puissance freinée P sera proportionnelle à

$$\frac{\mathrm{N}^2\, r.\, a.\, f(i)^2}{\rho}$$

et le couple à équilibrer à

$$\frac{\mathrm{N}.\, r.\, a.\, f(i)^2}{\rho}.$$

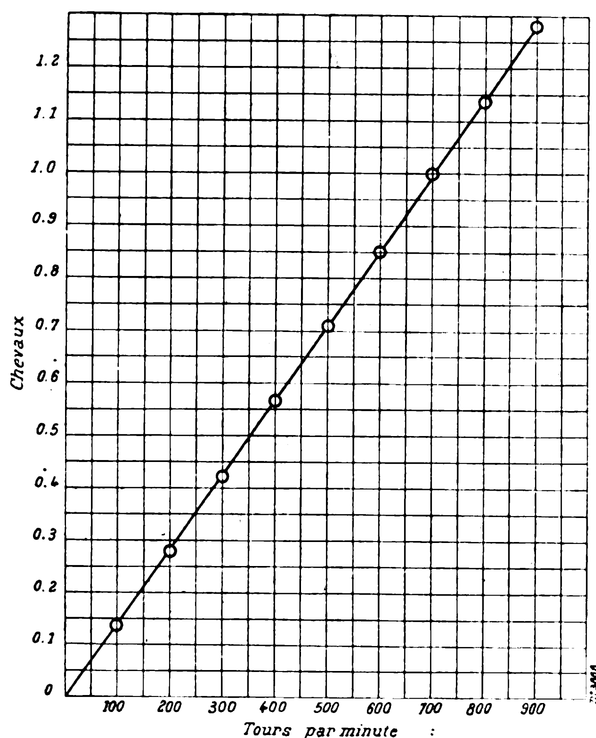


Fig. 19. — Courbe de la puissance absorbée par le frein Rieter à vide.

Il résulte de là que pour un appareil donné, et à vitesse constante, on pourra augmenter le couple électromagnétique en augmentant la vitesse, l'écartement des électroaimants ou l'excitation, mais que ce dernier moyen sera de beaucoup le plus puissant.

Quel est l'ordre de grandeur de la force électromotrice induite dans le disque et du courant correspondant ? Le professeur Feussner, en supposant que les courants de Foucault avaient une trajectoire circulaire dans le grand modèle de son frein — pour lequel le diamètre du noyau des électro-aimants est de 40 mm, le bord du disque est éloigné de 15 mm de ce noyau et la largeur du demi disque est de 6 mm, — a trouvé pour la résistance du circuit le chiffre de 0,00005 ohm, pour le courant 4 500 ampères et pour la force électromotrice 0,03 volt, dans le cas où la puissance freinée est de 4 kilowatts.

La formule donnée plus haut ne tient pas compte de la réaction du disque, c'est-à-dire de l'effet démagnétisant produit sur le champ inducteur par le champ des courants mêmes qui parcourent le disque. Feussner indique qu'à excitation constante, le couple du frein ne varie pas forcément dans le même sens que la vitesse, ni proportionnellement à elle.

La réaction du disque se manifeste encore d'une autre manière. Lorsque le disque s'échauffe, sa résistivité diminue et la théorie indique qu'il faut remonter l'excitation si l'on

veut faire travailler le moteur à couple constant. Dans l'un des modèles du frein de Feussner, le couple augmente avec la température du disque, dans l'autre il diminue.

Si maintenant nous considérons le frein de Rieter, le couple total de freinage se compose de deux autres couples ; l'un est un couple électro-magnétique auquel les raisonnements ci-dessus s'appliquent, et l'autre, un couple d'hystérésis, lequel est indépendant de la vitesse. Cette remarque permet, ici, comme dans le cas de véritables dynamos, de se faire une idée des grandeurs relatives du couple d'hystérésis et du couple électromagnétique. Nous avons vu que ce second couple est proportionnel à la vitesse ; on peut donc écrire, pour une excitation donnée

$$C_t = \alpha N + C_h$$

C_t étant le couple total, N le nombre des tours par minute et C_h le couple d'hystérésis.

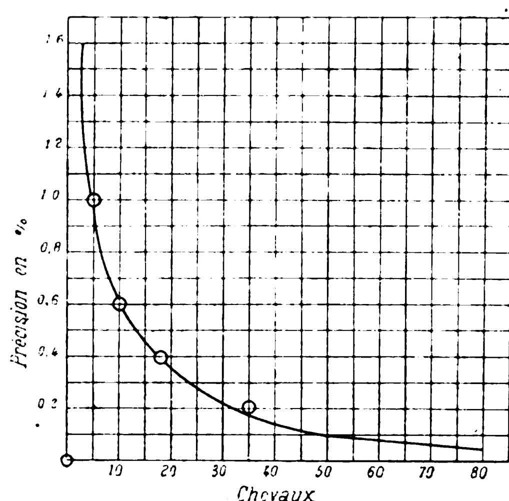


Fig. 20. — Précision du frein Rieter.

En appliquant cette équation aux différents points des courbes de la figure 13 correspondant à la même abscisse, on obtient deux équations que l'on peut résoudre par rapport à α et à C_h.

Comme exemple, si l'on prend les abscisses 0,5 et 2 ampères, on trouve les résultats suivants :

Excitation de 2 ampères à 585 tours — $\frac{C_h}{C_t} = 73$ p. 100 et $C_h = 3\,\alpha N$

id. 421 tours — $\frac{C_h}{C_t} = 69$ p. 100 et $C_h = 3{,}2\,\alpha N$

Excitation de 0,5 ampères à 598 tours — $\frac{C_h}{C_t} = 59$ p. 100 et $C_h = 2{,}4\,\alpha N$

id. 435 tours — $\frac{C_n}{C_t} = 66$ p. 100 et $C_h - 3\,\alpha N$

Comme d'autre part α est, à une constante près, égal au produit du flux inducteur par le courant qui circule dans l'anneau massif, les considérations précédentes donnent le moyen de se renseigner sur l'ordre de grandeur des courants induits : il suffit d'avoir les données électriques et magnétiques de l'appareil.

Il faut remarquer que dans les appareils qui absorbent à la fois du travail électromagnétique et du travail d'hystérésis la grandeur respective de l'un et de l'autre est fonction de la résistivité et du coefficient η du métal magnétique dont est constituée la pièce massive. Or, le fer a déjà une résistivité égale à au moins sept fois celle du cuivre : on peut donc concevoir que, dans les freins qui utilisent des pièces massives en fer ou en acier, le travail d'hystérésis soit plus considérable que le travail électromagnétique.

VII. Autres usages des freins dynamométriques et électromagnétiques. — Nous ne citerons que pour mémoire l'utilisation de ces appareils comme appareils à lecture directe en équilibrant le couple par un ressort.

Une application beaucoup plus intéressante, et bien connue d'ailleurs, est l'usage comme hystérésimètres d'appareils basés sur le principe de ceux que nous venons de

***

décrire ou l'adaptation de ces derniers à ce but spécial. M. Potier a fait construire un hystérésimètre disposé à l'inverse des freins Pasqualini ou Feussner. Cet appareil se trouvait à l'Exposition universelle dans l'exposition de l'École supérieure d'électricité. Nous devons à l'obligeance de M. Chaumat, chef des travaux à cette école, les renseignements suivants : les tôles à essayer sont disposées en un paquet en forme d'anneau et sont montées sur l'équipage oscillant formant balance. Le paquet a 18 à 19 cm de diamètre et une épaisseur de 18 mm. L'inducteur est un électroaimant à deux pôles : l'induction qu'il produit dans les tôles est de 8 850 gauss. La vitesse, indifférente au point de vue du couple, est généralement de 15 à 1 800 tours, pour se rapprocher des fréquences usuelles. La période propre

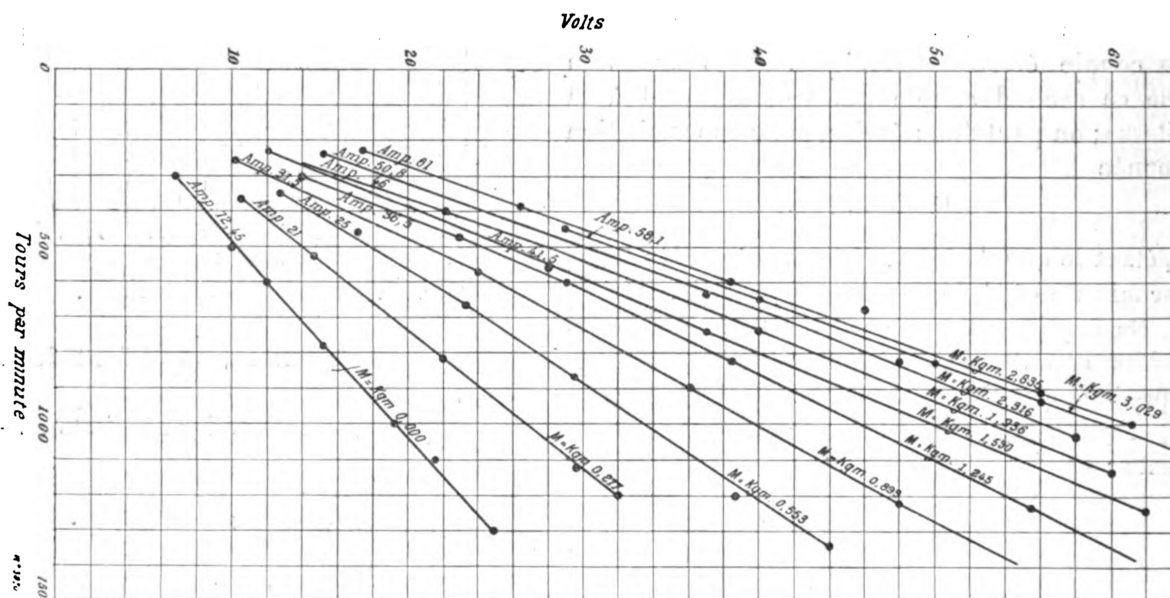


Fig. 21. — Essais exécutés avec le frein Pasqualini.

d'oscillation de la balance est de l'ordre de la seconde. Il serait extrêmement facile de faire de cet appareil un frein du genre de ceux que nous venons d'étudier.

Le frein Pasqualini peut être utilisé comme hystérésimètre en remplaçant le disque en cuivre par un disque composé d'un assemblage des tôles à essayer, auxquelles on donne une forme circulaire de 15 cm de diamètre, le paquet ayant environ 10 cm d'épaisseur.

Les hystérésimètres de Desprez et de Blondel rentrent dans la même catégorie que celui de M. Potier, mais avec équilibrage par ressort. Dans l'hystérésimètre d'Ewing, au contraire, ce sont les tôles à essayer qui sont animées d'un mouvement de rotation, comme dans l'appareil Pasqualini.

VIII. — Pour terminer, il nous reste à voir une application de ces freins à un essai de dynamo, et nous analyserons rapidement l'étude d'un moteur de 4 chevaux à 1 000 tours par minute sous 60 volts, exécuté au laboratoire électrotechnique de la marine italienne, à la Spezzia, à l'aide du frein Pasqualini [1].

Le moteur était complètement enfermé ; il avait quatre pôles ; les pôles inducteurs et leurs culasses étaient en tôles laminées. L'induit était en tambour avec enroulement en

[1] *Elettricista* 1897, n° 8.

série et on pouvait employer deux ou quatre paires de balais. L'excitation était en tambour et les enroulements des quatre inducteurs, en parallèle entre eux, avaient une résistance de 0,04 ohm à froid.

La résistance de l'induit était de 0,026 ohm et celle des balais, déduite de la chute de tension entre les porte-balais et le collecteur, fut trouvée variable entre 0,010 et 0,015 ohm, de sorte qu'on pouvait prendre pour la résistance de la machine complète à froid, 0,078 ohm.

Le frein était disposé de manière à donner un moment résistant que l'on maintenait constant pendant toute une série de mesures (5 à 7), et l'on mesurait l'intensité du courant et la différence de potentiel aux bornes correspondant aux diverses vitesses.

Il a été fait 61 mesures et l'on peut être assuré que le résultat n'aurait pas été aussi précis ni aussi rapidement obtenu avec un frein de Prony.

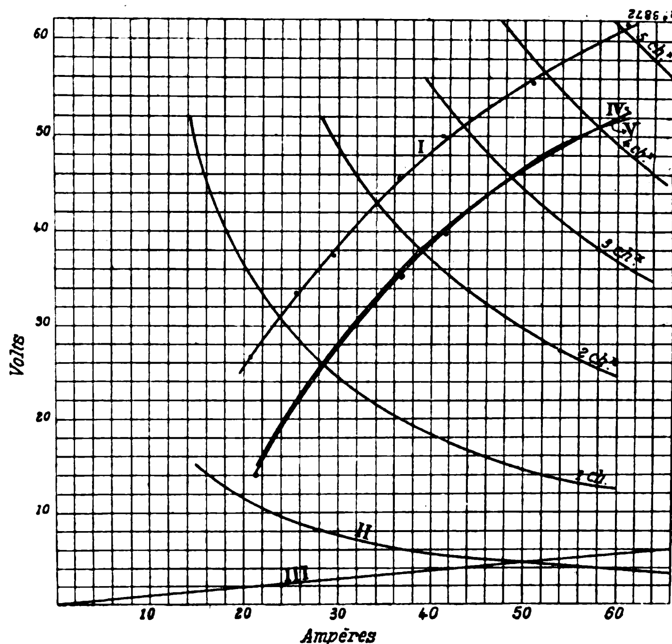


Fig. 22. — Essais exécutés avec le frein Pasqualini.

Les résultats de ces 61 mesures sont reportés sur la figure 21 qui représente la différence de potentiel aux bornes en fonction de la vitesse à couple constant.

De ces nombres, on a déduit la courbe I de la figure 22, qui correspond à 1 000 tours par minute : c'est là une méthode indirecte d'obtenir la caractéristique qui fut trouvée plus commode que la méthode ordinaire.

La figure 23 représente les pertes par frottement ; elle se déduit de la courbe inférieure de la figure 21, après déduction des pertes Joule. On voit qu'à la vitesse normale de 1 000 tours par minute, le moteur absorbe 229 watts pour vaincre les frottements.

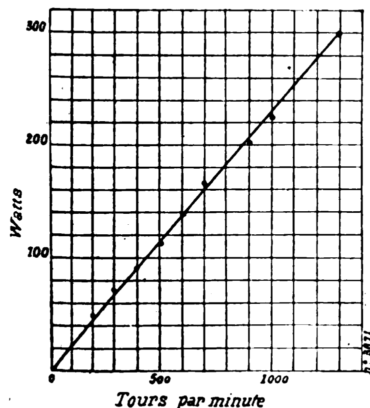


Fig. 23. — Essai exécuté avec le frein Pasqualini.

La courbe II de la figure 22 est une hyperbole équilatère d'équation.

$$xy = 229$$

Elle donne donc pour les différents régimes de courants la perte en volts correspondant aux frottements.

La droite III de la figure 22 forme avec l'axe des abcisses un angle dont la tangente est égale à la résistance du moteur à la température de 35° admise comme température de régime : elle donne pour les différents régimes de courants la perte en volts dans les enroulements.

La courbe IV a été obtenue en faisant la différence des ordonnées de la courbe I et de

la somme des ordonnées des lignes II et III. C'est la courbe de la puissance transformable qui doit être égale à la puissance disponible sur l'arbre, si des phénomènes parasites provenant d'un vice de construction du moteur n'interviennent pas.

Pour se rendre compte s'il en est ainsi, on a tracé la courbe V qui représente la puissance disponible mesurée à l'aide du frein et dont les ordonnées sont égales à

$$\frac{2\pi . M . 1\,000}{60} . 9{,}81$$

M étant le moment résistant correspondant au courant porté en abscisse et à la vitesse de 1 000 tours.

A pleine charge, comme on le voit, la puissance disponible sur l'arbre était de 58 ampères $\times$ 51 volts = 2 958 vatts, tandis que la puissance absorbée était de 58 ampères $\times$ 60 volts = 3 480 watts. Le rendement était donc de 85 p. 100.

Jacques GUILLAUME.

LES ALTERNATEURS A L'EXPOSITION DE 1900

Parmi toutes les subdivisions de l'industrie électrique, celle de la construction des alternateurs a une importance capitale à cause du rôle prépondérant que jouent les courants alternatifs dans la transmission de l'énergie.

Par suite de la diversité des types de dynamos présentées par les différentes maisons, l'Exposition fut particulièrement instructive pour les ingénieurs qui s'intéressent à un titre quelconque au progrès des machines à courants alternatifs.

Après les descriptions de la plupart des alternateurs exposés, nous avons pensé qu'il ne serait pas inutile de résumer les points principaux qui régissent, à l'heure actuelle, l'emploi et la construction de cette importante catégorie de machines.

Nombre de phases. — Un des faits qui frappa le plus l'esprit des visiteurs du Palais de l'Électricité fut le triomphe, définitif à notre avis, des courants triphasés sur les autres systèmes à courants alternatifs simples ou polyphasés même pour l'éclairage.

Il semble qu'on soit enfin revenu sur cette idée, fausse d'ailleurs, et qui eut cours pendant quelque temps chez nous, à savoir, que les différences de charges sur les trois circuits d'un réseau d'éclairage par courants triphasés ne permettent pas d'obtenir des tensions égales sur les trois phases.

Les générateurs à courants alternatifs simples ou diphasés étaient, en effet, très réduits à l'Exposition. En particulier, parmi les groupes électrogènes affectés au service de l'éclairage et du transport de l'énergie, on n'en comptait qu'un seul à courants alternatifs simples, installé par les ateliers d'Oerlikon et un seul à courants diphasés, celui de MM. Farcot, de Saint-Ouen. Encore faut-il ajouter que la nature du courant, dans ce dernier, avait été imposée par celle de l'installation existante à l'agrandissement de laquelle il était destiné.

Si l'on joint à ces machines un alternateur à courants diphasés Thury, destiné également à une installation existante, celle de Skajaerscelven, un alternateur à courants diphasés Thury-Creusot, type à carbure, et deux ou trois alternateurs à courants alternatifs simples, on obtient un total de 6 à 7 machines à courants alternatifs simples ou diphasés pour plus de 60 machines à courants triphasés.

Alternateurs hétéropolaires et homopolaires. — Un second point non moins intéressant que le premier, est l'abandon, d'ailleurs prévu plus d'un an avant l'ouverture de l'Exposition, du type dit « alternateur inducteur » ou à flux ondulé et bobine inductrice centrale.

Le nombre de machines de ce type se réduisait, en effet, à 8 au plus, présentées par les ateliers d'Oerlikon près Zurich, la Société d'électricité Alioth de Bâle, et MM. Siemens et Halske de Vienne dans les sections étrangères, et par les ateliers du Creusot, les ateliers Farcot et la Société Gramme en France.

La seule raison d'être des machines à fer tournant avait été leur grande vitesse périphérique, particulièrement commode pour obtenir une largeur de pôles suffisante dans les alternateurs à grande vitesse angulaire. Des vitesses linéaires de 35 à 40 m : s étant employées maintenant dans les machines à pôles séparés grâce à l'adoption d'enroulements avec conducteurs à section carrée ou en bande de cuivre, les dynamos du type inducteur n'ont plus de chance d'être employées que pour l'obtention de vitesses linéaires comprises entre 50 et 100 m par seconde, comme celles que peut exiger la commande directe des alternateurs par turbine à vapeur.

Un alternateur de ce dernier genre, commandé par une turbine à vapeur Rateau, devait figurer dans la section française, dans l'exposition de MM. Sautter et Harlé. Malheureusement, ce groupe, dont les essais à l'usine ont donné toute satisfaction aux constructeurs, n'a pu être prêt à temps pour figurer à l'Exposition.

On peut objecter toutefois, qu'à l'Exposition, l'emploi presque unique pour la production de l'électricité sous forme de courants alternatifs, de grosses unités à faible vitesse angulaire, éliminait à priori ce type de machine.

Cette objection est valable ici, si l'on remarque que les alternateurs à fer tournant cités sont tous, sauf un, à vitesses angulaires assez élevées et sont destinés à être commandés par moteurs à vapeur à grande vitesse, par turbines ou par courroies. La seule exception est celle fournie par l'alternateur de MM. Farcot de Saint-Ouen, où l'emploi d'un inducteur homopolaire est justifié par la réalisation d'une machine assez lourde supprimant l'adjonction d'un volant séparé dans la commande des alternateurs directement accouplés à des moteurs monocylindriques et destinés à fonctionner en parallèle avec d'autres machines.

Quoiqu'il en soit, ce type d'alternateur tend à disparaître de plus en plus à cause des nombreux inconvénients, très connus maintenant, qu'il présente.

Vitesse angulaire des alternateurs. — Comme nous venons de le dire, la plupart des machines à courants alternatifs exposées sont à faible vitesse angulaire. A part les alternateurs à flux ondulé déjà cités, ainsi que quelques alternateurs à pôles alternés de puissance ne dépassant pas 300 kilovolts-ampères et commandés par courroies, les alternateurs exposés à Paris, sauf deux, ont des vitesses angulaires ne dépassant pas 126 tours par minute.

Tous ces alternateurs à faibles vitesses angulaires sont naturellement accouplés directement ou calés sur l'arbre des moteurs à vapeur qui les conduisent.

Alternateurs à faibles vitesses angulaires. — Dans l'établissement d'un alternateur à faible vitesse angulaire et à commande directe, le poids de la partie tournante, déterminé par les conditions électriques et mécaniques ordinaires, est insuffisant pour assurer au moteur à vapeur un coefficient d'irrégularité convenable pour le bon fonctionnement de la machine, soit seule sur un réseau, soit en parallèle avec d'autres du même type.

On sait que 3 solutions sont généralement employées pour concilier les conditions de bonne régularité des moteurs à vapeur avec la construction des alternateurs.

Ces trois solutions sont les suivantes :

1° On peut *habiller* la dynamo ou tout au moins la partie tournante de façon à rendre celle-ci suffisamment lourde pour obtenir un moment d'inertie convenable. Ceci revient surtout à donner à l'inducteur des proportions beaucoup plus grandes que n'en exigeraient les conditions magnétiques seules.

En particulier, même dans la commande par machines jumelées, le rapport entre la largeur utile de la machine parallèlement à l'axe et la largeur de la jante descend quelquefois jusqu'à près de un quart.

2° Une seconde solution plus simple consiste à adjoindre un volant spécial à l'inducteur.

3° Il est possible, enfin, d'employer un genre de dynamo utilisant complètement la jante du volant au point de vue magnétique.

Ces trois solutions, les deux premières surtout, étaient représentées à l'Exposition.

Il est difficile de dire à priori quelle est la meilleure, car elle dépend encore de la fréquence; on peut cependant prévoir que, par suite de l'emploi de moteurs à vapeur à vitesse angulaire forcée, comme on a tendance de le faire actuellement, la deuxième solution, à cause de sa simplicité, sera la plus communément employée dans l'avenir. Elle est, du reste, en parfait accord avec l'économie des matériaux dans la construction des alternateurs.

Toutefois, les alternateurs sans volants auxiliaires et à induit intérieur, qui n'étaient représentés à l'Exposition que par deux machines, celles du groupe russe Bromley-Brown-Boveri et celle du groupe suisse Sulzer-Rieter, fournissent également une solution très économique qui serait préférable dans beaucoup de cas à la solution par volant séparé, si elle n'avait l'inconvénient d'exiger une manœuvre assez longue pour le dégagement de l'induit et principalement de sa partie inférieure.

Quoi qu'il en soit, même pour des vitesses angulaires de 125 tours par minute (alternateurs Ganz), la première solution était, dans les groupes exposés, généralement préférée à la seconde.

Vitesses linéaires des alternateurs. — L'emploi de faibles vitesses angulaires, emploi imposé, comme on vient de le voir, par les considérations de commande directe par moteurs à vapeur, a pour conséquence l'adoption de vitesses linéaires dépassant rarement 30 m : s; dans beaucoup de cas même, la vitesse n'atteint pas 25 m : s.

Même avec ces vitesses linéaires assez faibles, la largeur du pôle, perpendiculairement à l'axe, est encore relativement grande ; aussi les largeurs des machines parallèlement à l'axe sont généralement assez réduites, ce qui a pour effet, lorsque la carcasse de l'induit n'est pas beaucoup plus large que la largeur utile de la dynamo, de donner à celle-ci une forme élancée généralement séduisante à l'œil ; tels sont les alternateurs de la Société Helios, de la Société Électricité et Hydraulique de Charleroi, des ateliers du Creusot, de MM. Kolben et Cie, etc., etc...

Nature des pôles inducteurs et chute de tension. — La majorité des constructeurs paraissent s'être préoccupés tout spécialement de la chute de tension.

C'est en effet une des questions à l'ordre du jour dans la construction des alternateurs et l'Exposition Universelle de Paris nous a paru très instructive à ce sujet.

Il est admis à l'heure actuelle que la valeur d'une machine à courants alternatifs, à part bien entendu certains cas particuliers, dépend de sa chute de tension, non seulement sur résistances non inductives, mais encore et surtout sur résistances inductives. Les valeurs généralement admises sont d'environ 5 p. 100 pour les charges non inductives et de 15 p. 100 pour celles présentant des facteurs de puissance assez divers suivant les cas ; quelques machines atteignent même une chute de tension assez voisine de 10 p. 100 seulement ; parmi celles-ci, il faut citer l'alternateur triphasé de la Société l'Éclairage Électrique qui n'a que 11 p. 100 de chute de tension avec un facteur de puissance de 0,5 seulement, celui de MM. Kolben et Cie qui a 7 p. 100 avec un facteur de puissance de 0,9 et ceux de la Société Électricité et Hydraulique dont la chute de tension est de 10 p. 100 environ avec un facteur de puissance de 0,85.

La question de la chute de tension est forcément liée avec la constitution des noyaux et des pièces polaires, aussi la plupart des alternateurs à faible chute de tension ont-ils des inducteurs pleins en acier.

Pour tous, la saturation dans le circuit magnétique inducteur est assez élevée et le point correspondant à la marche à vide est toujours sur le genou de la courbe de magnétisation ou un peu au-dessus.

Parmi les constructeurs qui ont conservé l'emploi des tôles feuilletées pour les inducteurs, deux : l'Allgemeine Elektricitäts-Gesellschaft, de Berlin, et MM. Farcot, de Saint-Ouen, peuvent être mis à part par suite de la présence des circuits amortisseurs Hutin et Leblanc destinés à faciliter le maintien des alternateurs en synchronisme dans le fonctionnement en parallèle.

Les autres constructeurs, utilisant les inducteurs feuilletés dans les alternateurs à pôles séparés, sont : les ateliers d'Oerlikon, la Compagnie de Fives-Lille, MM. Siemens et Halske, de Berlin, la Compagnie française Thomson-Houston, la Société Alsacienne de Constructions Mécaniques, M, Maurice Leblanc et MM. Boucherot et Cie.

Si l'on en excepte ces deux derniers, par suite de l'asynchronisme de leurs alternateurs, on voit que l'emploi des inducteurs feuilletés est peu fréquent maintenant.

Les pôles en acier jouent de plus un rôle important pour le fonctionnement en synchronisme, car leur effet est, comme celui des amortisseurs Hutin et Leblanc, de diminuer les mouvements pendulaires au prix toutefois d'une plus grande perte d'énergie.

Un seul alternateur triphasé à pôles alternés, celui de MM. Kolben et Cie, de Prague, a des épanouissements polaires en tôles feuilletées, nécessités, du reste, par l'emploi de rainures assez larges dans l'induit.

Alternateurs compounds. — A la question de la chute de tension peut être rattachée celle du compoundage des alternateurs.

Les partisans du compoundage reprochent à ceux des alternateurs à faible chute de tension, et par suite, à pôles très saturés, la mauvaise utilisation de l'induit par suite du faible poids de cuivre employé sur cette partie des alternateurs, relativement au poids total de cuivre, et proposent l'emploi de machines à faible entrefer et à répartition du cuivre en parties à peu près égales sur l'induit et sur l'inducteur.

Une seconde raison qui milite en faveur du compoundage est celle presque inséparable de l'asynchronisme, c'est-à-dire, du fonctionnement en multiple des alternateurs sans que ceux-ci soient astreints à conserver le synchronisme.

Deux solutions du problème général du compoundage et de l'asynchronisme ont été présentées à l'Exposition : l'une, par M. Maurice Leblanc, dont les travaux en électricité industrielle ont fait depuis dix ans l'admiration des électriciens du monde entier, et l'autre par M. Paul Boucherot, également connu par ses nombreux travaux sur les courants alternatifs.

Une troisième solution : celle de M. Blondel, une des personnalités les plus écoutées du monde électrique, devait aussi figurer dans l'exposition de MM. Sautter et Harlé et appliquée à l'alternateur à grande vitesse linéaire dont nous avons parlé plus haut.

Entrefers. — Les entrefers employés sont assez variables; réduits à de simples jeux imposés par les conditions mécaniques dans certaines machines à pôles séparés, ils ont une importance assez grande dans d'autres.

Dans beaucoup d'alternateurs, l'entrefer n'est pas uniforme sous les épanouissements polaires; ceux-ci présentent de légers chanfreins ou sont arrondis de façon à réaliser une meilleure répartition de l'induction pour l'obtention d'une tension aussi sinusoïdale que possible et éviter l'emploi d'un grand nombre d'encoches.

Parmi les maisons qui ont employé couramment les pièces polaires avec rebords abattus, il faut citer MM. Ganz et Cie, la Société l'Éclairage Électrique, les ateliers du Creusot, les ateliers d'Oerlikon (alternateur à fer tournant), la Compagnie Thomson-Houston, etc.

Forme des encoches. — Tous les alternateurs exposés sont à induit denté; les alternateurs sans fer, comme les alternateurs à induit lisse, ont complètement disparu du marché.

En général, les encoches sont ouvertes, soit sur leur largeur complète, de façon à former de simples rainures, pour permettre le bobinage sur gabarit, soit sur une faible partie de cet te largeur.

Quelques constructeurs, cependant, conservent les induits à trous, ce sont : MM. Brown-Boveri et Cie, de Baden-Baden, la Société l'Éclairage Électrique, la Société Électricité et Hydraulique et M. J. Rieter, de Winterthur, etc. Les isthmes séparant les trous de l'entrefer sont très réduits, principalement dans l'alternateur Brown-Boveri et Cie.

Les encoches, qu'elles soient ouvertes ou fermées, ont généralement une forme rectangulaire avec angles plus ou moins arrondis, du côté de l'entrefer seulement : alternateur Heyland, alternateur Grammont (matériel Routin), ou des deux côtés à la fois.

Quelques machines font exception à cette règle et ont des encoches ou des trous circulaires.

Ce sont celles : de la Société anonyme de Francfort-sur-le-Mein, ci-devant W. Lahmeyer et Cie, de la Société l'Eclairage Électrique (alternateur de 30 000 volts), de MM. Brown-Boveri et Cie (alternateur à inducteur extérieur), de M. Krizik, de Prague, etc..

Nombre d'encoches par phase. — Il semble que peu de constructeurs se soient réellement préoccupés de l'amélioration de l'induit au point de vue de la dispersion. L'importance de la dispersion est cependant le facteur prépondérant dans la chute de tension sous charges fortement inductives, et la diminution de la dispersion dans les induits doit, à notre avis, marcher de front avec la saturation des inducteurs puisque une faible diminution de la première peut donner lieu à une diminution importante du courant d'excitation pour la marche en charge.

La dispersion dans les alternateurs est analogue, jusqu'à un certain point, à celle des moteurs d'induction et sa diminution peut s'obtenir, non seulement par celle des ampèretours par centimètre de l'induit, comme on l'admet habituellement, mais encore, toutes choses égales d'ailleurs, par la division de l'induit en un plus grand nombre d'encoches par pôle.

Cette idée a été utilisée très heureusement dans l'alternateur de l'Allgemeine Elektricitäts Gesellschaft où l'induit comprend 15 encoches par pôle, soit 5 par phase.

Il est bon de citer aussi l'alternateur Ganz du groupe autrichien et celui de MM. Siemens et Halske, de Berlin, qui ont chacun 3 encoches par pôle et par phase, ainsi que les alternateurs à induit mobile de MM. Siemens et Halske, de Vienne, et de la compagnie de Fives-Lille.

Tous les autres alternateurs ont des nombres d'encoches par pôle et par phase de 2,5 (Ganz) 2 et 1.

Enroulements d'induit. — L'emploi des grosses unités rend possible celui des barres avec développantes pour l'enroulement de l'induit dans les alternateurs à haute tension.

Deux constructeurs dont les alternateurs à courants triphasés sont, du reste, les deux plus puissants de l'Exposition, l'Allgemeine Elektricitäts Gesellschaft et MM. Siemens et Halske, de Berlin, ont utilisé des barres avec développantes pour l'enroulement de l'induit.

Le dispositif d'enroulement de l'Allgemeine Elektricitäts Gesellschaft est un des plus ingénieux et réalise un des progrès les plus sérieux qu'il nous ait été permis de constater à l'Exposition.

Les alternateurs à basse tension sont tous, sauf un (celui de M. Krizik, de Prague), munis d'enroulements en barre.

Le montage le plus adopté pour le groupement des phases est celui en étoile. Quelques maisons, MM. Ganz et Cie en particulier, emploient généralement la disposition en triangle.

Un seul, enfin, celui de MM. Siemens et Halske, de Vienne (alternateur à pôles séparés), est muni de deux enroulements, un en étoile et un en triangle aboutissant aux mêmes bornes. Ce dispositif est employé pour permettre d'obtenir deux tensions différentes et pour rendre la machine auto-excitatrice suivant le procédé imaginé par M. G. Ossanna.

La disposition la plus adoptée pour l'enroulement induit par bobine est la disposition ordinaire bien connue ; il y a cependant une tendance à placer toutes les bobines d'une même phase de la même façon, de manière à éviter les erreurs de connexions.

Parmi les alternateurs à enroulement de ce genre, on peut citer ceux de MM. Brown-Boveri et Cie, de MM. Ganz et Cie et des ateliers du Creusot, etc.

La plupart des constructeurs ont adopté la disposition par bobines larges, c'est-à-dire, celle correspondant à une bobine complète par paire de pôles et par phase.

Un, cependant, emploie des bobines étroites, c'est-à-dire une bobine par pôle et par phase sans enchevêtrement, c'est la Société l'Éclairage Électrique.

Tension des alternateurs. — La tension employée dans les machines exposées dites à haute tension est presque toujours de 2 200 volts aux bornes ; mais cela tient uniquement aux réglements élaborés par le service électrique de l'Exposition, qui a préconisé, de préférence, ce dernier voltage.

En réalité, la tension des alternateurs exposés varie généralement entre 2 000 et 6 000 volts ; toutefois, un alternateur à 7 500 volts a été exposé par les ateliers d'Oerlikon et un autre à

30 000 volts, qui constitue le record de la haute tension à l'Exposition, existait dans le stand de la Société l'Eclairage Électrique, de Paris.

Pour les alternateurs à bas voltage, la tension généralement adoptée est aux environs de 200 volts. Une seule exception est celle de l'alternateur de l'Allmänna Swenska Elektrisca Aktiebolaget dont la tension est de 800 volts.

Moteurs a vapeur. — L'aperçu général que nous venons de donner sur les alternateurs exposés à Paris serait incomplet, si nous ne disions quelques mots sur les moteurs à vapeur qui les commandaient.

Parmi les conditions exigées par les électriciens pour la commande de leur matériel, deux sont particulièrement importantes : ce sont celles de la possibilité de l'accouplement en parallèle et celle d'une marche économique, même avec le fonctionnement sous charge à facteur de puissance variable suivant les différentes heures de la journée.

La question du fonctionnement en parallèle des alternateurs n'a pas cessé d'être étudiée depuis dix ans; à l'heure actuelle, avec les perfectionnements réalisés dans la construction et dans la conception des dynamos ordinaires à courants alternatifs, on en est venu à ne plus voir dans le problème du couplage des alternateurs modernes qu'une question d'ordre purement mécanique. On admet, en général, que les seules difficultés à réaliser sont d'obtenir :

1° Une constance suffisante de la fréquence, ou ce qui revient au même, un coefficient d'irrégularité du moteur à vapeur (rapport entre la demi-variation de vitesse instantanée et la vitesse moyenne par tour) assez petit.

2° Une action très prompte du régulateur et une chute de vitesse convenable lorsqu'on passe de la marche à vide à la marche en charge.

Cette seconde condition, indispensable pour le bon fonctionnement en parallèle, a pour but, en somme, de permettre d'imposer aux alternateurs une charge déterminée et de diminuer par suite les réactions qui doivent s'exercer entre les deux alternateurs pour le maintien du synchronisme.

La valeur de la variation de vitesse qui doit être imposée entre la marche à vide et la marche en charge, dépend beaucoup des aptitudes *électriques* au couplage des alternateurs employés et du coefficient d'irrégularité des moteurs à vapeur.

En général, une variation de vitesse supérieure à 6 p. 100, 3 p. 100 en plus ou en moins, est nécessaire pour le bon fonctionnement en parallèle. L'importance de cette variation de vitesse, ainsi d'ailleurs que la possibilité de pouvoir faire varier la vitesse dans la même proportion avec une charge constante, exige l'emploi d'un dispositif spécial pour obtenir une fréquence sensiblement constante.

Ce réglage de la fréquence se fait de deux manières, soit par l'action d'un dispositif adapté au régulateur lui-même, soit par étranglement de la vapeur dans la conduite d'amenée.

Le premier procédé est le plus généralement adopté ; la variation de vitesse a été presque toujours jusqu'ici obtenue par une manœuvre à la main ; il y a cependant maintenant quelques constructeurs qui ont tenté, avec succès, une manœuvre électrique du dispositif, commandée du tableau de distribution.

On conçoit facilement, d'après ce que nous venons de dire, que la partie la plus délicate à étudier dans les moteurs à vapeur, pour le bon fonctionnement en parallèle, est le régulateur.

La rapidité d'action du régulateur tend à éliminer à priori l'emploi de moteurs à plusieurs détentes, à moins toutefois que l'action du régulateur se fasse sentir simultanément sur l'admission dans les différents cylindres, ce qui est très rarement le cas.

Nous ne voulons pas dire ici cependant que l'emploi des moteurs à vapeur à détente multiple rende impossible le fonctionnement en parallèle, nous pensons seulement que ce fonctionnement est rendu moins stable à égalité de variation de vitesse entre la marche à vide et la marche en charge, non par suite de la paresse naturelle du régulateur, mais à cause de la lenteur avec laquelle son action se fait sentir sur les différents cylindres, le régulateur n'agissant que sur la

****

détente dans le cylindre à haute pression dans les moteurs à expansion multiple, tandis qu'il agit sur la totalité de cette détente dans les machines dites monocylindriques.

On a quelque peu médit des moteurs monocylindriques dans ces derniers temps. Sans vouloir faire ici une étude comparée des divers types de machines à vapeur, nous pouvons néanmoins rappeler que les moteurs monocylindriques présentent dans certains cas des avantages incontestables. La consommation de vapeur par cheval indiqué en pleine charge y est, en effet, peu différente de celle consommée dans les moteurs à plusieurs détentes, tandis que le rendement mécanique en est beaucoup meilleur par suite du plus petit nombre d'organes.

En outre, les machines monocylindriques ont ce grand avantage que leur consommation par cheval indiqué ne varie que très peu pour une grande variation de la puissance développée.

Il en résulte que l'emploi de ces machines est désirable pour la commande des alternateurs des stations centrales, à cause de la variation assez considérable de puissance aux différentes heures de la journée, et de la nécessité de fournir les courants déwattés destinés à l'excitation des transformateurs à vide, courants qui limitent la puissance vraie débitée par les machines.

Il resterait à considérer la question du coefficient d'irrégularité.

La valeur de ce coefficient exigée par la plupart des constructeurs électriciens est de $\pm$ 1/200 au maximum ; dans ces conditions, l'importance du volant est, en général, telle que les turbines, les moteurs jumelés, compounds ou non, et les moteurs à détentes multiples pourraient seuls être employés avec succès pour la commande des alternateurs destinés à fonctionner en parallèle.

A moins de dispositifs spéciaux permettant de réduire l'importance du volant pour le fonctionnement en parallèle, comme l'emploi des circuits amortisseurs Leblanc, la question du coefficient d'irrégularité seule empêche les machines à un seul cylindre d'être, en général, peu employées pour la conduite des alternateurs.

Le meilleur moyen de concilier les conditions de bonne régularité et de bon fonctionnement en parallèle ainsi que de rendement moyen élevé dans la commande des alternateurs est d'employer des moteurs à vapeur jumelés avec les deux cylindres à la même pression. Cette solution n'était, il est vrai, représentée par aucune maison à l'Exposition. La raison doit en être cherchée dans ce qu'aucun constructeur n'exposait, ou plus exactement, ne sollicitait de récompense pour le groupe complet, mais pour chacun des éléments séparés, même parmi les maisons s'occupant à la fois de constructions mécaniques et électriques.

Les moteurs commandant les alternateurs étaient, en somme, de tous types : monocylindriques, compound-tandem ou conjugués, machines à triple expansion, etc...

Quelques constructeurs de moteurs à vapeur se sont intéressés particulièrement à la question de la commande des alternateurs avec charges très variables, tel est, en particulier, le cas pour la maison Sulzer frères de Winterthur dans un moteur actionnant l'alternateur Rieter.

Classification des alternateurs. — La classification des alternateurs que nous ferons ici est surtout destinée à grouper les générateurs à courants alternatifs exposés à Paris et n'aura par suite aucune prétention à la généralité.

La classification par la nature de l'induit, qui a été adoptée bien souvent, nous paraît devoir être abandonnée d'une façon générale par suite de la disparition des types d'alternateurs à induit sans fer et à induit à anneau, lisse ou non.

La classification que nous préconisons pour les alternateurs modernes a pour base la nature de l'inducteur eu égard au mode de production de la force électromotrice induite.

Nous diviserons donc les alternateurs en deux grands groupes :

I. Alternateurs à flux magnétique renversé, ou à pôles alternés ou hétéropolaires ;

II. Alternateurs à flux magnétique ondulé, ou à saillies polaires ou homopolaires.

Le premier groupe peut se subdiviser en deux sous-groupes ou sections suivant la forme des pôles inducteurs :

1° Alternateurs à pôles inducteurs saillants ;
2° Alternateurs à pôles inducteurs continus.

Les alternateurs de la deuxième section sont généralement asynchrones, c'est-à-dire ne sont pas assujettis à tourner en synchronisme lors de leur fonctionnement en parallèle avec d'autres alternateurs.

Chacun des 2 sous-groupes d'alternateurs peut à son tour se diviser en plusieurs classes suivant la constitution du circuit magnétique ou plus exactement des pôles inducteurs et des épanouissements polaires.

Nous distinguerons trois classes principales correspondant aux différentes constitutions de ces parties.

a. Alternateurs à pôles et épanouissements pleins ;
b. Alternateurs à pôles et épanouissements feuilletés ;
c. Alternateurs à pôles pleins et épanouissements feuilletés.

Dans chacune des classes d'alternateurs nous séparerons ceux-ci d'abord suivant la nature des perforations, puis suivant la fixité ou la mobilité de l'induit et enfin d'après le nombre de phases.

Les familles ainsi obtenues seront ensuite divisées d'après le nombre de perforations par pôle et par phase.

(*A suivre.*) C.-F. Guilbert.

THÉORIE GRAPHIQUE

DE LA

RÉGULATION DES CONVERTISSEURS ROTATIFS (1)

§ II. Détermination de l'excitation du convertisseur.

Les considérations précédentes ont eu pour résultat de fixer les conditions d'alimentation du convertisseur, et en particulier de la réactance, en vue de pouvoir obtenir pour celui-ci une variation de tension donnée avec la charge sans dépasser un certain maximum de courant déwatté, et même en se rapprochant du minimum de ce courant. Il reste maintenant à résoudre la seconde partie du problème, à savoir la détermination des ampères-tours inducteurs, enroulés soit en série, soit en dérivation, qui permettent au convertisseur de suivre approximativement cette loi de variation grâce au jeu des courants déwattés.

Dans ce qui suit, nous supposerons d'abord exclusivement que l'on se trouve dans les conditions ordinaires d'un convertisseur travaillant sans décalage à sa charge moyenne et étant par conséquent parcouru aux charges plus faibles par un courant positif déwatté (en retard de $\frac{\pi}{2}$ sur la force électromotrice), et par suite magnétisant (2). C'est le cas étudié dans tout ce qui précède.

Éléments caractéristiques du convertisseur. — Ici doivent intervenir les propriétés magnétiques de la machine, qui se traduisent par deux éléments essentiels nouveaux.

(1) Voir *L'Éclairage Électrique* du 9 novembre, p. 206.

(2) Il est facile de voir que tout courant déwatté *en retard* par rapport à la force électromotrice extérieure E, est un courant décalé en avance par rapport à la force électromotrice intérieure $\mathcal{E}$, puisque E et $\mathcal{E}$ sont à peu près en opposition.

Il tend donc à renforcer la force électromotrice $\mathcal{E}$ d'après ce qu'on sait des alternateurs en général.

1° La caractéristique d'excitation, c'est-à-dire la courbe de variation de la force électromotrice induite en fonction des ampères-tours inducteurs placés sur les bobines excitatrices. Cette courbe est supposée connue par des essais d'atelier ; les forces électromotrices induites sont portées en ordonnées et les ampères-tours excitateurs en abscisses (fig. 15).

2° La force magnétomotrice équivalente de l'induit, c'est-à-dire le chiffre des ampères-tours, qui, placés sur les inducteurs, produiraient même force magnétomotrice dans le circuit magnétique que le courant déwatté I_d circulant dans l'induit.

Ces ampères-tours moyens équivalents peuvent être représentés comme dans un alternateur par l'expression,

$$K \frac{N'}{2} I_d \sqrt{2},$$

en appelant N' le nombre de *fils* périphériques de l'induit par champ double (c'est-à-dire dans un circuit magnétique), K un coefficient de réduction qui dépend du nombre de phases et d'encoches et de la largeur des pôles, et I_d l'intensité *efficace* du courant déwatté.

On détermine K par le calcul en faisant $I_d = 1$ ampère avec un décalage nul, et en calculant le potentiel magnétique moyen produit sous un pôle.

On le mesure expérimentalement avec une approximation généralement suffisante (parce que la réactance de fuite ωs est sensiblement négligeable) en faisant tourner à la vitesse normale le convertisseur par l'effet d'une force extérieure et en lui faisant alimenter (du côté alternatif), avec son voltage normal, un circuit extérieur purement inductif (formé de self-inductions donnant un $\cos \varphi$ au plus égal à 0,20) ; la différence entre la tension aux bornes $\mathcal{E}$ sous cette charge et celle e qu'on mesure à circuit ouvert sous la même excitation mesure en volts la réaction d'induit correspondant au courant débité.

Si l'on reporte e et $\mathcal{E}$ en ordonnées sur la courbe d'excitation, la différence des abscisses A et a (fig. 15) mesure (en négligeant toujours les fuites) les ampères-tours équivalents de l'induit. Il suffit de diviser $A - a$ par le courant efficace I_d débité dans l'expérience multiplié par $\sqrt{2}$ et par le nombre de spires $\frac{N'}{2}$ pour obtenir K

$$K = \frac{A - a}{\frac{N'}{2} I_d \sqrt{2}}. \tag{16}$$

Étude d'une excitation compound ; différents éléments de l'excitation. — L'excitation des convertisseurs est prise aux bornes du secondaire ; elle peut être faite évidemment soit en dérivation, soit en série, soit en compound.

Soit $\mathcal{E}_2$ la tension secondaire aux bornes, I_2 le courant débité, n le nombre de spires de l'excitation en série, r la résistance d'une spire de l'enroulement shunt, les ampères-tours en shunt et en série seront respectivement

$$\frac{\mathcal{E}_2}{r} \quad \text{et} \quad nI_2$$

Ce sont eux qui, concurremment avec les ampères-tours équivalents de l'induit, déterminent l'excitation totale.

Dans le cas le plus général, celui d'un convertisseur compound, la question est donc fort complexe, puisqu'il y a trois éléments variables, le premier avec la tension, le second avec le courant débité, et le troisième avec le courant déwatté.

Comme on l'a vu plus haut, les ampères-tours secondaires sont proportionnels aux ampères-tours primaires utiles $I_w - j_o$.

D'autre part, si l'on appelle ξ le rapport de transformation, c'est-à-dire le rapport de la force électromotrice primaire à la force électromotrice secondaire, comme la résistance de l'induit est déjà par hypothèse comptée une fois dans le circuit d'alimentation, on n'a plus à la compter

ici, et on peut poser :

$$\text{Ampères-tours de l'excitation dérivée } A_d = \left(\frac{1}{\xi r}\right)\mathcal{E}, \tag{17}$$

$$\text{Ampères-tours de l'excitation (}^1\text{) en série } A_s = nI_2 = \left(\frac{\pi kn}{\sqrt{2}}\right)(I_w - j_0), \tag{18}$$

$$\text{» dévattés, produits par l'armature } A_a = \left(\frac{KN'}{\sqrt{2}}\right) I_d. \tag{19}$$

Les forces magnétomotrices se trouvent ainsi exprimées directement en fonction des éléments des courants primaires, ce qui va nous permettre de calculer les excitations à chaque régime.

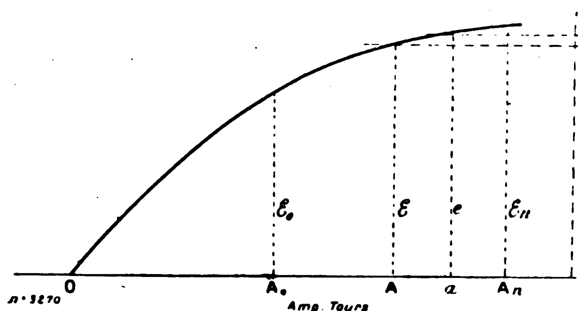


Fig. 15.

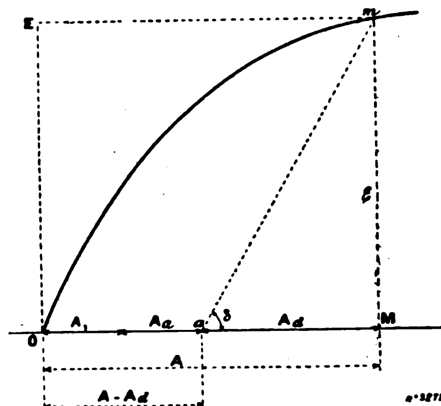


Fig. 16.

Si l'on compte toujours comme positifs les courants déwattés en retard, (qui sont magnétisants), le nombre total des ampères-tours inducteurs au régime $\mathcal{E}\, I_w$ est donc

$$A = \frac{\mathcal{E}}{\xi r} + \frac{\pi kn}{\sqrt{2}}(I_w - j_0) + \frac{KN'}{\sqrt{2}} I_d. \tag{20}$$

Nous mettons le signe + devant les ampères-tours déwattés parce que, dans les conditions d'alimentation normales étudiées plus haut, le courant déwatté est dirigé à droite de D, c'est-à-dire *positif et magnétisant* entre la charge à vide et la charge normale, puis démagnétisant au delà. Nous affectons les ampères-tours en série du signe + parce qu'en général cet enroulement doit être concordant avec l'enroulement shunt, comme on le verra plus loin.

Les constantes inconnues r et n des enroulements sont faciles à prédéterminer, quand on connaît les forces électromotrices $\mathcal{E}_0$ et $\mathcal{E}_m$ à réaliser à vide et à la charge moyenne I_m où le décalage est nul. Soit en effet sur la caractéristique A_0 et A_m les ampères-tours correspondant à $\mathcal{E}_0$ et à $\mathcal{E}_m$; on aura pour le second régime

$$\frac{1}{\xi r}\mathcal{E}_m + \frac{\pi kn}{\sqrt{2}}(I_m - j_0) = A_m, \tag{21}$$

---

(1) D'après l'égalité du premier paragraphe (relation entre le courant alternatif I_w et le courant continu débité I_2)

$$I_2 = \frac{\pi K}{\sqrt{2}} I_w,$$

dans laquelle on remplace, pour plus de précision, I_w par $I_w - j_0$. Si l'induit portait deux enroulements différents, on multiplierait le rapport par celui des nombres des spires de ces deux enroulements $\frac{N}{N_2}$.

et pour le premier

$$\frac{1}{\xi r}\,\mathcal{E}_0 + \frac{KN'}{\sqrt{2}}\,i_0 = A_0. \tag{22}$$

Si l'on se donne le courant déwatté à vide, dont la valeur ne peut descendre au-dessous d'un certain minimum comme on l'a expliqué plus haut, la seconde équation détermine la conductance $\frac{1}{r}$ d'une spire de shunt

$$\frac{1}{r} = \frac{\xi}{\mathcal{E}_0}\left(A_0 - \frac{KN'i_0}{\sqrt{2}}\right), \tag{23}$$

et la première donne ensuite le nombre de spires en série

$$n = \frac{A_m - \frac{\mathcal{E}_m}{\xi r}}{\pi k(I_m - j_0)}\sqrt{2} = \frac{\left(A_m - \frac{\mathcal{E}_m}{\mathcal{E}_0}A_0\right)\sqrt{2} + \frac{\mathcal{E}_m}{\mathcal{E}_0}KN'i_0}{\pi k(I_m - j_0)}. \tag{24}$$

On voit de plus que les ampères-tours en dérivation, proportionnels à $\frac{\mathcal{E}_m}{r}$, sont plus petits que les ampères-tours totaux A_0 (en supposant $\mathcal{E}_m > \mathcal{E}_0$) et qu'ils décroissent quand croît le courant déwatté i_0 tandis que les ampères-tours en série, proportionnels à $n\ (I_m - j_0)$, croissent avec ce courant i_0.

Détermination du courant déwatté en fonction de l'excitation a courant watté constant, puis a puissance constante, sous une force électrotrice constante de la génératrice. — Supposons, comme pour les moteurs synchrones, le convertisseur alimenté par une force électromotrice constante E, et excité par un courant inducteur réglable à volonté.

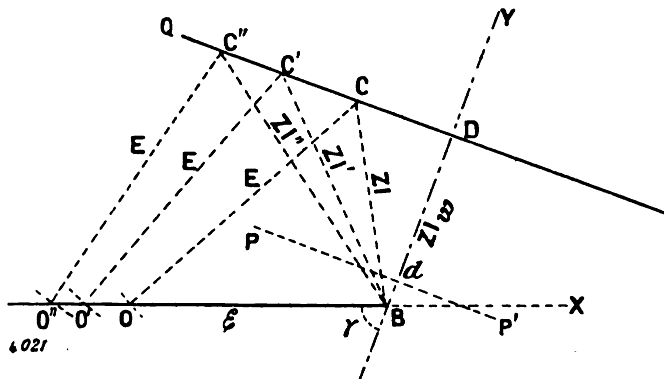


Fig. 17.

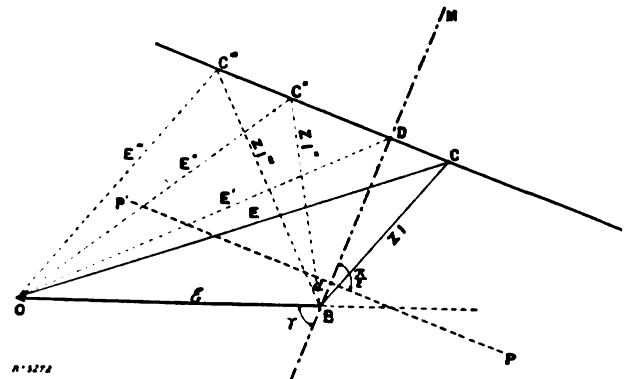


Fig. 17 *bis*.

L'épure fondamentale (fig. 2) combinée avec la courbe précédente (fig. 16) permettra d'abord aisément de trouver, pour chaque valeur du courant watté I_w, les valeurs du courant déwatté correspondantes à chaque valeur de l'excitation, exprimée en ampères-tours.

En effet, soit par exemple I_w le courant watté donné, et BD la ligne de repère, tracée grâce à la connaissance supposée acquise du coefficient γ. Le lieu du point C, caractéristique du régime, pour cette valeur constante de I_w est la droite DQ tracée perpendiculairement à BD, à la distance $BD = ZI_w$, tandis que le lieu du point O, seconde extrémité du vecteur E, est la ligne OBX.

Tous les régimes correspondant au courant watté I_w seront donc obtenus en traçant de tous les points C, C′, C″... de la première droite des arcs de cercle de rayon E coupant la seconde en O, O′, O″... Les segments BO, BO′, BO″ ainsi formés mesurent les valeurs des forces électromotrices intérieures $\mathcal{E}, \mathcal{E}', \mathcal{E}''$... correspondantes, et les segments DC, DC′, DC″..., divisés par Z, mesurent les valeurs du courant déwatté I_d.

Pour chaque paire de valeurs de $\mathcal{E}$ et I_d ainsi déterminées, on obtient les ampères-tours excitateurs A_e par la courbe d'excitation (fig. 16) en retranchant des ampères-tours résultant A correspondant à l'ordonnée $\mathcal{E}$ de cette courbe les contre ampères-tours de l'induit; d'où

$$A_e = A \mp \frac{KN'}{\sqrt{2}} I_d.$$

Il ne faut pas oublier que le courant déwatté I_d est démagnétisant et positif s'il est compté à droite de l'axe BD, et négatif et magnétisant s'il est compté à gauche. Le signe supérieur s'applique au premier cas et le signe inférieur au second.

Cela posé, l'épure permet maintenant de déterminer le lieu des points C et les variations de E à puissance constante, si l'on maintient la force électromotrice de la génératrice constante, comme dans le cas des moteurs synchrones. On a en effet ici simplement

$$P = \mathcal{E} I_w$$

de sorte que pour chaque valeur de I_w, et par conséquent pour chaque position de la droite DQ, la valeur de $\mathcal{E}$, et par suite la position du point O, sont connues, et on peut aussitôt tracer de ces points des cercles de rayons E, dont les intersections respectives avec les droites DQ donnent les points C cherchés. On pourra ainsi tracer les courbes en V analogues à celles des moteurs synchrones et les courbes des valeurs de $\mathcal{E}$ correspondantes. Mais, ces régimes à puissance constante ne présentent plus pour les convertisseurs le même intérêt pratique que pour les moteurs, car la variation de $\mathcal{E}$ serait fort gênante.

Différentes valeurs de l'excitation a puissance constante et potentiel constant. Courbes en V a tension constante. — L'épure précédente (fig. 16 et 17) donne aussi la solution immédiate du problème plus pratique [1] qui consiste à déterminer les intensités du courant I correspondant aux différentes excitations, sous puissance constante *et sous tension secondaire aux balais constante*. C'est le même problème que le précédent, avec cette modification que ce n'est pas la différence de potentiel aux bornes qu'on doit ici supposer constante, mais la force électromotrice induite $\mathcal{E}$.

Le lieu du point C est encore la droite CD elle-même. Mais nous ajoutons la condition que le segment OB reste constant; le point O devient donc invariable (fig. 17 *bis*).

Pour chaque position du point C, le segment CB correspondant indique le courant, et OC la force électromotrice nécessaire à la génératrice.

Si l'on porte les forces électromotrices en abscisses et les courants en ordonnées, on obtient des courbes en forme de V (fig. 18) indépendantes du bobinage inducteur et de la loi de saturation, grâce à l'hypothèse de $\mathcal{E}$ constant.

Mais il est plus intéressant de prendre comme variable en abscisses, comme pour les moteurs synchrones, les ampères-tours excitateurs, sans distinguer s'ils sont en série ou en dérivation; cela revient à supposer une excitation séparée.

Ces ampères-tours se déterminent pour chaque valeur du courant alternatif I en mesurant sur l'épure (fig. 13) le segment CD correspondant qui indique le courant déwatté I_d, et en retranchant des ampères-tours à vide OM capables de donner la force électromotrice $\mathcal{E}$ les ampères-tours magnétisants produits par l'induit

$$A_a = \left(\frac{KN'}{\sqrt{2}}\right) I_d,$$

comptés avec le signe + ou le signe — suivant que I_d est positif ou négatif, c'est-à-dire que le point C est à droite ou à gauche de D.

[1] Le cas que l'on considère est le cas d'utilisation. Mais ce n'est encore qu'un cas théorique, puisqu'on suppose la force électromotrice maintenue rigoureusement constante et on verra plus loin qu'on ne peut réaliser cette condition qu'approximativement. Dans le cas général on fera donc varier à la fois $\mathcal{E}$ et E.

Si l'on porte les valeurs de l'excitation A ainsi déterminée en abscisses et les valeurs de I correspondantes en ordonnées, on obtient une courbe en V dont la fig. 19 indique le schéma et dont le coude correspond au régime sans décalage. En portant aussi en ordonnées les valeurs de E correspondantes, on obtient une seconde courbe en V, dont le coude est reporté beaucoup plus à droite, de sorte qu'elle se réduit dans la portion utile de l'épure à une branche descendante.

Ces courbes se prolongeraient à la gauche de l'origine, si l'on voulait considérer le cas d'excitations négatives. Pour chaque valeur de la puissance débitée on obtient une paire de courbes du même genre.

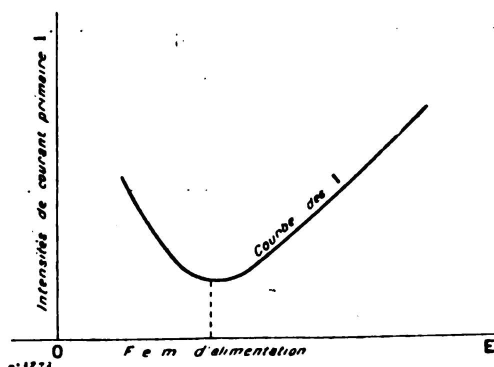


Fig 18.

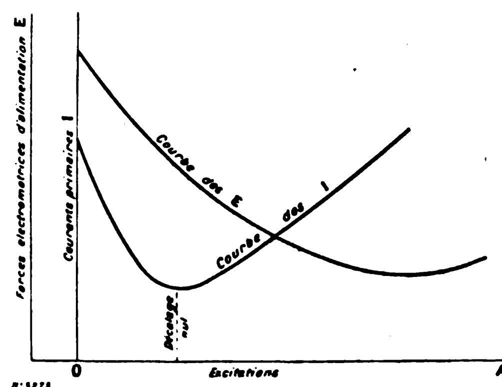


Fig. 19.

Limite supérieure du courant déwatté. — On a vu précédemment que le courant déwatté a une limite inférieure. Il a également d'après l'équation (23) une limite supérieure, celle qui rendrait l'excitation shunt nulle ; car on ne peut songer à une excitation shunt négative ; cette limite

$$i_0 = \frac{A_0 \sqrt{2}}{KN'}, \qquad (24)$$

doit être supérieure à la limite minima, à moins que le nombre de spires sur l'induit ne soit exagéré.

Mais en fait il n'y a pas besoin de limite supérieure du courant déwatté puisqu'on cherche à le prendre aussi faible que possible pour réduire les inconvénients qu'il produit dans la distribution, c'est-à-dire l'exagération de E.

Ce qui doit achever surtout de déterminer la valeur à choisir pour i_0, c'est la condition qu'entre la marche à vide et la marche normale, la variation de voltage, qui détermine le jeu des enroulements inducteurs, soit celle qu'on a fixée pour l'exploitation et qui est représentée par la caractéristique d'alimentation définie plus haut.

Pour faire cette comparaison facilement, nous introduirons une notion commode, celle de la *caractéristique des décalages à tension constante du convertisseur*.

Caractéristique des décalages du convertisseur sous force électromotrice constante. — Supposons que, par un moyen quelconque, la tension aux balais du convertisseur soit maintenue constante ; il en sera de même de l'excitation dérivée, proportionnelle à cette tension, ainsi que des ampères-tours totaux qui produisent la dite tension.

On aura donc :

$$A = \text{constante}, \quad A_d = \text{constante};$$

et par suite

$$A_s + A_a = \text{constante } (A - A_d), \qquad (28)$$

ou

$$\frac{\pi k n}{\sqrt{2}} (I_w - j_0) + \frac{KN'}{\sqrt{2}} I_d = (A - A_d). \qquad (29)$$

Cette formule exprime tout simplement qu'à tension constante le transformateur peut fournir n'importe quel courant secondaire (proportionnel à I_w), qui traverse ses inducteurs en série, grâce à la réduction automatique du courant déwatté I_d qui prend de lui-même la valeur voulue pour rétablir toujours même force magnétomotrice totale A.

La relation entre $I_w - j_0$ et I_d est simplement linéaire. Si donc nous représentons (fig. 20)

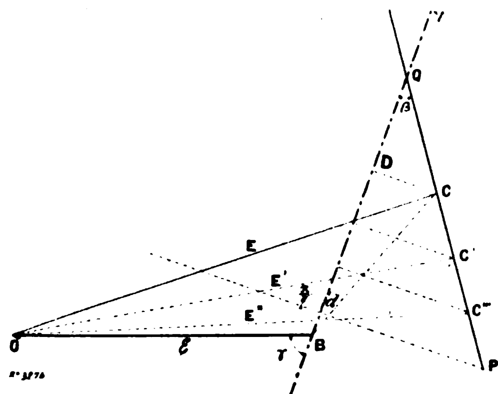


Fig. 20.

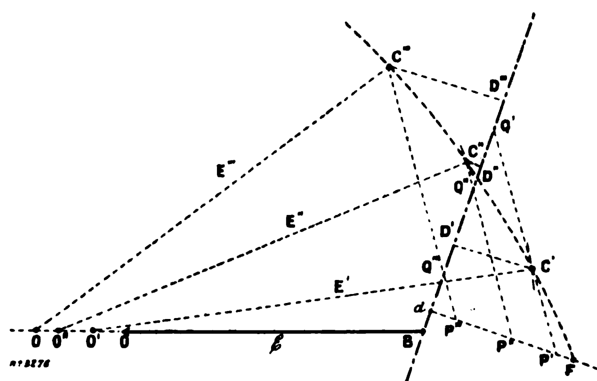


Fig. 21.

comme dans tout ce qui précède, sur la droite de repère BY, les charges sous forme de segments proportionnels $dD = ZI$ et les courants déwattés correspondants I_d par d'autres segments proportionnels

$$DC = ZI_d.$$

Le lieu du point C, extrémité de ce dernier, est une droite QP ayant pour coefficient angulaire en Q

$$\operatorname{tg} \beta = \frac{DC}{DQ} = \frac{\pi k n}{KN'} \cdot \tag{30}$$

Ce coefficient ne dépend que des enroulements inducteur et induit. Cette droite se trace facilement en pratique en déterminant les points Q, à décalage nul, et P, à travail nul.

$$\text{En P} \left\{ \begin{aligned} & I_w - j_0 = 0 \\ & Pd = i_0 = \frac{A - A_d}{KN'} \sqrt{2} \end{aligned} \right. \tag{31}$$

$$\text{En Q} \left\{ \begin{aligned} & I_d = 0 \\ & Qd = I_w - j_0 = \frac{\sqrt{2}}{\pi k n} (A - A_d) \end{aligned} \right. \tag{32}$$

Pour chaque valeur de $\mathcal{E}$, il existe une valeur de $A - A_d$; on la lit sur la caractéristique en traçant (fig. 16) par le point m correspondant à cette coordonnée la droite ma sous un angle δ par rapport à l'axe des A ayant pour coefficient angulaire la résistance de la spire moyenne du shunt,

$$\operatorname{tg} \delta = r.$$

Donc à chaque valeur de $\mathcal{E}$, correspond une droite PQ plus ou moins éloignée du point d; mais *toutes ces droites sont parallèles*, ayant un même coefficient angulaire ρ qui ne dépend que des enroulements. Plus le nombre des spires de l'enroulement en série est réduit, plus évidemment le point Q s'éloigne de d sur la droite BY ; quand l'enroulement en série n'existe pas (convertisseurs excités en simple dérivation), la droite PQ devient une parallèle à QY menée par P.

Inversement la réduction du nombre des spires sur l'induit éloigne le point P vers la droite sur la perpendiculaire dP.

Enfin l'augmentation ou la diminution des ampères-tours du shunt diminue ou accroît la différence $A - A_d$. et par conséquent rapproche ou éloigne la droite PQ du point d ; elle passe par ce point quand $A_d = A$.

Caractéristique effective du convertisseur en charge. — Cela posé, rien n'est plus simple que d'étudier sur l'épure les variations de la tension aux bornes du convertisseur en fonction de son débit ; il suffit d'inverser le problème et de chercher quel est le débit correspondant à chaque tension, comprise dans les limites où l'on prévoit que celle-ci peut varier.

Soient $\mathcal{E}\,\mathcal{E}'\,\mathcal{E}''$ une série de valeurs de la tension $\mathcal{E}$; on porte les longueurs correspondantes en BO, BO', BO''..(fig. 21). De ces points O, O', O'' on décrit des cercles avec E comme rayon, ou E, E', E'' respectivement si on admet une force électromotrice d'alimentation variable, et on prend leurs points de rencontre C, C', C'' avec les caractéristiques de décalages QP, Q'P', Q''P'', correspondant respectivement à ces mêmes valeurs $\mathcal{E}, \mathcal{E}', \mathcal{E}''$... Ces points définissent les régimes de courants I_w et I_d correspondants du convertisseur, et en particulier les charges dD, dD', dD''. Si l'on a tracé d'autre part la caractéristique *demandée* point par point pour les mêmes valeurs de $\mathcal{E}, \mathcal{E}', \mathcal{E}''$, la comparaison des deux courbes indique immédiatement les écarts entre les valeurs désirées et les valeurs réalisées par l'appareil.

L'inconvénient de cette construction est que les cercles coupent en pratique les droites PQ sous des angles très aigus et que les points de rencontre sont ainsi un peu incertains.

Pour faire la comparaison avec plus de précision par le calcul, il suffit de calculer I_w en fonction de $\mathcal{E}$ par les équations (2) et (29) c'est-à-dire

$$Z^2 (I_d^2 + I_w^2) + 2\mathcal{E} (RI_w + XI_d) = E^2 - \mathcal{E}^2, \qquad (2)$$

$$\left(\frac{\pi kn}{\sqrt{2}}\right)(I_w - j_0) + \frac{KN'}{\sqrt{2}} I_d = A - A_d. \qquad (29)$$

Ces deux équations à deux inconnues I_w et I_d permettent d'éliminer I_d et de résoudre I_w en fonction de quantités connues, $\mathcal{E}$ étant supposé déterminé préalablement ; ce calcul, bien qu'un peu laborieux, ne présente aucune difficulté.

Sans tracer la courbe d'une façon rigoureuse, on peut aisément en prévoir l'allure dans les divers cas. Comme, d'après ce qui précède, l'inclinaison des droite de décalage PQ dépend du courant déwatté admis à vide i_0, on conçoit que le choix de celui-ci doit être fait en se préoccupant d'améliorer l'accord entre la courbe réelle et la courbe demandée. Nous allons examiner à ce point de vue les principaux cas pratiques.

Application au cas d'une excitation indépendante. — Supposons d'abord pour simplifier que l'excitation shunt soit remplacée par une excitation indépendante et constante ; alors A_d est constant.

On voit immédiatement que si l'on n'ajoute pas d'enroulement en série, le convertisseur ne pourra donner que des tensions décroissantes quand la charge augmente. La caractéristique de décalage à toutes charges est en effet une droite PQ parallèle à BY (fig. 22) et si l'on prend sur elle des points C' C'' qui vont en s'éloignant de P, les rayons constants E coupent l'axe BO en des points O, O', O'' qui se rapprochent de B ; les tensions proportionnelles à OB vont donc en décroissant.

Donc quelle que soit la réactance et la force électromotrice extérieure choisie E, une excitation indépendante (ou *a fortiori* dérivée) ne peut maintenir la tension constante aux balais du collecteur à courant continu. Il va sans dire que la meilleure excitation dans ces conditions de marche à potentiel tombant serait celle qui annule le courant déwatté dP à toutes charges ; mais ce mode de fonctionnement est, je crois, sans grand intérêt pratique[1].

[1] On a proposé quelquefois d'employer la régulation à potentiel tombant pour les convertisseurs travaillant en parallèle avec des batteries d'accumulateurs afin de faire débiter celles-ci aux fortes charges et se recharger aux faibles charges, mais il serait barbare d'être condamné ainsi à accepter des variations de voltage de 10 à 20 p. 100 sur le réseau alors qu'on peut obtenir le même résultat à potentiel constant par des survolteurs automatiques adjoints à la batterie.

Si l'on ajoute un enroulement en série, qui incline la droite PQ, vers la gauche, les variations de $\mathcal{E}$ deviennent évidemment moindres. Cherchons la condition pour qu'elles se réduisent au minimum c'est-à-dire pour que le convertisseur donne une tension pratiquement constante.

Il faudra évidemment que la caractéristique de décalage PQ se confonde le mieux possible dans les limites pratiques de charge avec un cercle décrit du point O correspondant à BO = E. Soit

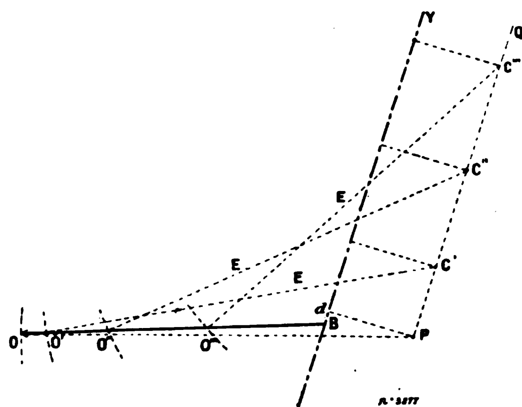


Fig. 22.

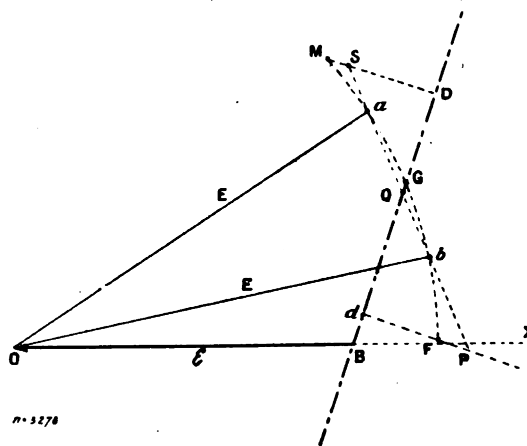


Fig. 23.

F (fig. 23) le régime de marche à vide, G le régime moyen, M le régime de charge maxima. On pourra tracer une droite telle que ab coupant le cercle en deux points a et b intermédiaires à ces régimes, et qui s'écartera très peu du cercle dans tout l'arc d'emploi. Les segments dP et dQ lus sur l'épure détermineront les courants i_0 et I_w à vide et en charge normale, et les équations (31) et (32) permettront d'en déduire le nombre d'ampères-tours constants A_d à réaliser, ainsi que le nombre de spires n du circuit en série.

Les faibles écarts résiduels de la tension $\mathcal{E}$ s'obtiendront en traçant de tous les points de la droite PS des cercles de rayon E et prenant leurs intersections avec l'axe des tensions BO.

Le choix de la réactance X influe sur la précision de la régulation, en ce que plus l'arc de cercle FM, correspondant à une même variation de charge, a d'ouverture, plus il est difficile de le confondre avec une droite PS. Pour améliorer la régulation, on devrait donc réduire au minimum le segment $d\text{D} = \text{ZI}_w$ mesurant la charge maxima I_w, et dans ce but réduire autant que possible la réactance (qui est le facteur le plus important dans la valeur de Z).

Mais, comme on l'a vu plus haut, celle-ci ne peut être réduite au-dessous d'une certaine valeur X_0 sans que cela force à accroître le courant déwatté à vide i_0. Il y a donc un juste milieu à prendre entre X_0 et zéro, qui dépendra des circonstances et de l'appréciation de chacun. En particulier on pourra réduire d'autant plus X que la charge du convertisseur sera plus régulière et qu'il marchera moins souvent à vide.

Pour hypercompounder la machine, on devra redresser davantage la droite PQ en remontant plus haut le point Q sur la droite BY ; mais le principe reste le même, tracer la droite PQ de façon qu'elle se rapproche le plus possible en tous points de la caractéristique demandée, tracée tout d'abord.

Application au cas général de l'auto-excitation. — Dans le cas général de l'auto-excitation, la solution est peu différente, mais elle se trouve compliquée par le fait de la variation de l'excitation shunt avec la tension. Au lieu de n'avoir à faire qu'à une seule droite de décalage PQ, on aura donc un réseau de droites parallèles correspondant à diverses valeurs de $\mathcal{E}$.

Dans le cas de la régulation à potentiel constant, la méthode de détermination des enroulements inducteurs et de la réactance du circuit reste exactement la même que dans le paragraphe précédent, puisque le shunt doit produire par hypothèse une excitation constante. Mais il faut tenir

compte des petites variations de A_d dans le calcul final des écarts de voltage dus à l'imperfection de la régulation :

Pour les valeurs de $\mathcal{E}$ inférieures à la valeur normale, l'excitation shunt se réduit d'elle-même, par conséquent la droite PQ se rapproche de *d* parallèlement à elle-même ; elle s'écarte au contraire quand $\mathcal{E}$ augmente. Il est facile de voir sur la figure 24 que cet effet tend à accroître les écarts par rapport à ce qu'ils sont avec une excitation dérivée constante.

Quand l'appareil doit être hypercompound, les deux régimes à vide et à charge moyenne sans décalage déterminent comme plus haut les ampères-tours déwattés à vide A_0 et, par suite, les enroulements shunt et série.

Fig. 24.

Fig. 25.

Soit $\mathcal{E}$ et $\mathcal{E}'$ les valeurs de la tension correspondante à ces deux régimes, A_t et $A_{t'}$ les ampères-tours correspondants d'après la courbe d'excitation ; les lignes de décalage relatives à toutes les valeurs intermédiaires seront parallèles et comprises entre deux lignes ayant pour équation l'équation 29, avec des seconds membres respectivement égaux à

$$A_t - A_0 \quad \text{et} \quad A_{t'}$$

et passant l'une par P l'autre par P, (fig. 24).

Pour qu'il puisse y avoir effectivement hypercompoundage, c'est-à-dire $\mathcal{E}' > \mathcal{E}$, il faut que le point Q soit peu élevé sur la droite BY. Cela indique simplement qu'il faut soit un enroulement en série puissant, soit un grand courant déwatté à vide. C'est évidemment la première solution qui paraît préférable.

Mais comme pour réduire $\mathcal{E}$, il y a toujours intérêt à incliner la droite BY vers la droite, on sera amené à accepter, dans le cas de l'hypercompoundage, d'accroître à la fois les deux éléments dont il s'agit.

Cas de la régulation de la tension d'alimentation par compoundage du générateur. — Comme on l'a dit plus haut, on peut théoriquement annuler à toutes charges le courant déwatté en alimentant le convertisseur par un alternateur convenablement compoundé qui donne une force électromotrice E croissant avec la charge de façon que le point C se déplace toujours sur la droite du repère BY pendant que $\mathcal{E}$ reste constant ou va en croissant suivant le but désiré. Comment devra être organisée l'excitation dans ce cas ?

Si le voltage est demandé constant $\mathcal{E}$, l'excitation sera évidemment en simple shunt, et sa valeur est aisée à déterminer par la condition qu'à charge nulle elle donne exactement le voltage $\mathcal{E}$, puisqu'il ne doit pas y avoir de courant déwatté.

Si l'on demande au contraire des voltages croissants avec la charge, l'excitation doit être compoundée. L'enroulement shunt sera choisi encore de façon à donner à lui seul la force électromotrice $\mathcal{E}$ à vide, et l'excitation en série de façon à produire le supplément d'ampères-tours nécessaires pour réaliser la force électromotrice $\mathcal{E}'$ demandée sous la charge I_n.

Comme on l'a dit plus haut, dans ce cas de régulation, on doit chercher à réduire la réactance X et le décalage θ au minimum.

Cas de la régulation de la tension aux bornes par variation de la réactance du circuit X. — Les deux enroulements se déterminent de la même manière que dans le cas précédent, puisque la tension du courant alternatif à l'entrée est réglée encore de même par des actions extérieures sans décalage du courant à l'intérieur de la machine. L'excitation sera en simple shunt pour tension constante, compound pour tension croissante avec la charge ; le shunt se déterminera par le voltage à vide, l'enroulement en série par le voltage en charge.

Suppression possible de l'excitation shunt. — Rien ne force à employer une excitation indépendante ou shunt comme nous l'avons supposé jusqu'ici ; car on peut toujours en mettant assez de spires sur l'induit et réduisant l'entrefer, réaliser l'excitation nécessaire à vide par le seul effet de la réaction d'induit.

Les équations (21) et (22) se réduisent alors à

$$\frac{\pi k n}{\sqrt{2}}(I_m - j_0) = A_m. \qquad (21\ bis)$$

$$\frac{KN'}{\sqrt{2}} i_0 = A_0, \qquad (22\ bis)$$

Pas plus que l'excitation shunt, ce système ne permet de réaliser exactement une tension constante ou croissante sans inducteurs en série ; il jouit un peu des propriétés d'autorégulation des transformateurs, mais à un degré insuffisant par suite de la plus grande résistance du circuit magnétique.

D'autre part, la grande valeur qu'il faut alors donner au courant déwatté présente le très grave défaut de faire chauffer l'induit davantage en accroissant le courant total, et d'accroître le décalage du générateur, d'où réduction de puissance, grandes chutes de voltage en ligne, etc., en un mot, tous les inconvénients ordinaires des forts courants déwattés ; en outre, la commutation sans étincelle est moins bien assurée par suite de la réduction de l'entrefer.

Aussi ce procédé, après avoir été préconisé par la Société Westinghouse, est-il aujourd'hui délaissé ; nous ne le citons que pour montrer la facilité avec laquelle on peut calculer l'excitation dans ces conditions aussi bien que dans les précédentes. Il a cependant un avantage, c'est de rendre le bon fonctionnement de la commutatrice plus indépendante de la forme de la courbe de la force électromotrice de la génératrice.

Conclusion. — On voit que le diagramme des moteurs synchrones, rapporté à deux axes, se prête par des extensions toutes naturelles à l'étude du convertisseur et permet d'en analyser les conditions de fonctionnement dans les cas les plus variés. Je serai heureux s'il peut aider à débrouiller et comprendre le problème fort complexe que soulève la régulation de ces machines, problème le plus compliqué je crois, que soulève la machinerie à courants alternatifs.

La méthode que je viens d'exposer permet du reste non seulement de prévoir qualitativement les phénomènes, mais de les calculer numériquement en combinant les épures (ou les équations qui les traduisent) avec les données de l'expérience. Des exemples d'applications expérimentales feront l'objet d'un mémoire ultérieur.

A. Blondel.

SUR LES PROPRIÉTÉS DES ANNEAUX A COLLECTEUR

A la suite de l'article de M. Maurice Leblanc paru dans *L'Éclairage Électrique* du 26 octobre 1901 et de celui de M. Bunet paru dans *L'Industrie Électrique* du 25 octobre, nous avions eu, un instant, l'intention de publier notre théorie analytique relative à la nouvelle propriété des anneaux à collecteur que ces articles signalent et contestent. Mais, pour avoir quelque chance d'être mieux écouté, nous avons cherché à faire d'abord des essais concluants. La bonne volonté de M. Boucherot nous l'a permis.

Les résultats de ces essais sont consignés dans une lettre que M. Boucherot a bien voulu nous adresser et que nous nous permettons de publier ci-dessous [1].

Les résultats de ces essais étant des plus nets, nous exposerons donc une théorie plus serrée de cette nouvelle propriété des anneaux à collecteur.

Considérons un anneau en acier magnétique disposé dans un deuxième anneau dont il est séparé par un entrefer. Les deux anneaux seront supposés feuilletés.

Traversé par un courant i, une spire tambour aa (fig. 1) ou l'ensemble de deux spires Gramme diamétralement opposées aa, bb (fig. 2), émet un flux φ que nous pouvons toujours mettre sous la forme :

$$\varphi = \lambda i$$

λ étant un certain coefficient qui ne saurait dépendre en aucune façon de la position de la spire aa ou de l'ensemble des spires aa, bb sur la périphérie de l'anneau.

---

[1] Monsieur, vous m'avez demandé si je ne pourrais pas vous mettre en mesure de vérifier la propriété des anneaux à collecteur parcourus par des courants polyphasés d'avoir une impédance fonction de la vitesse, propriété que vous m'aviez signalée il y a un an bien avant que M. Heyland ait fait les publications qui ont motivé l'article de M. Leblanc sur cette question.

J'ai pu heureusement mettre à votre disposition les éléments nécessaires à la démonstration expérimentale de la propriété énoncée, et je vous adresse ci-dessous les résultats obtenus dans les essais pour que vous en fassiez tel usage qui vous conviendra.

Nous avons pris un petit induit de dynamo à courant continu à quatre pôles comportant 24 entailles presque fermées, 48 sections enroulées en tambour, les sections diamétralement opposées étant reliées en tension, et les groupes de deux ainsi formés aboutissant à 24 lames du collecteur, lequel en compte 48, les 24 autres étant reliées aux premières par un connecteur ; 4 balais en charbon ont été placés à 45° les uns des autres sur le collecteur.

L'induit a été placé dans un stator identique à celui d'un moteur à champ tournant, feuilleté, comportant 8 encoches presque fermées, et des enroulements qui, laissés ouverts, et bien isolés les uns des autres et de la masse, ne pouvaient être parcourus par aucun courant.

L'entrefer était de l'ordre du millimètre.

La mesure de la résistance entre balais pour du courant continu a donné environ 1,8 ohm aussi bien entre les balais n°s 1 et 3 qu'entre les balais n°s 2 et 4.

Les balais ont été ensuite reliés à une source de courants diphasés constitués par une dynamo à courant continu possédant quatre bagues. Il n'était nullement question d'apprécier les conditions dans lesquelles se faisait la commutation, mais simplement de constater la variation de l'impédance.

Un premier essai à la fréquence 25 environ nous a montré que l'impédance variait depuis 15 ohms environ au repos jusqu'à 2 ohms environ dans le voisinage dn synchronisme et croissait ensuite.

Un second essai à fréquence plus élevée (fréquence 35) nous a montré que l'impédance était, au repos de 25 ohms environ et d'environ 2 ohms dans le voisinage du synchronisme, pour un sens convenable de rotation ; pour le sens contraire l'impédance augmentait constamment jusqu'à environ 50 ohms pour une vitesse sensiblement égale à celle du synchronisme.

Nous avons également constaté que l'impédance ne variait pas, quel que soit le sens de rotation, avec un courant alternatif simple,

Veuillez agréer, Monsieur, mes salutations distinguées.

P. BOUCHEROT,
Ingénieur-Conseil.

Nous admettrons :

1° *Que le coefficient λ est indépendant de l'intensité i ;*

2° *Que la distribution du flux φ à l'intérieur de l'anneau est sinusoïdale.*

Considérons le cas simple d'un anneau avec enroulement Gramme dont les conducteurs supposés de section rectangulaire sont dénudés sur la périphérie extérieure de l'anneau de façon à composer un collecteur (fig. 3). Ce collecteur comprendra, par construction, autant de lames qu'il y a de spires sur l'anneau. Disposons sur ce collecteur, à nombre pair de lames pour fixer les idées, 2 balais à 180°, chaque balai ayant la largeur d'une lame et portant, dans le cas général, sur deux lames à la fois.

Envoyons ensuite par ces balais un courant i dans l'anneau.

Nous isolerons d'abord par la pensée les deux spires en court-circuit sous les balais.

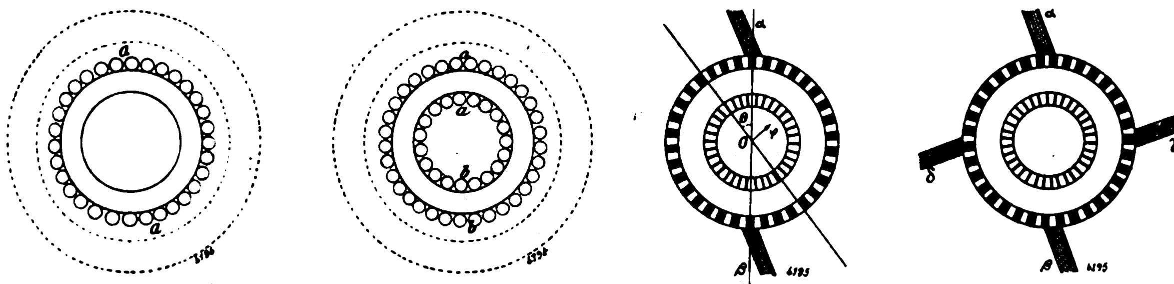


Fig. 1 à 4.

Parmi les spires en circuit, chaque groupe de 2 spires diamétralement opposées produira un flux :

$$\varphi = \lambda \frac{i}{2}.$$

On peut géométriquement représenter ce flux par un vecteur $o\varphi$ normal au diamètre joignant ces 2 spires.

S'il y a n spires sur l'anneau, il y aura $n - 2$ spires en circuit et $\frac{n}{2} - 1$ vecteurs semblables que nous pourrons composer en vue d'obtenir le vecteur résultant représentant en grandeur et en direction le flux résultant produit par l'ensemble des $n - 2$ spires en circuit de l'anneau.

Par raison de symétrie la direction de ce vecteur sera certainement le diamètre $\alpha\beta$ séparant d'une manière symétrique les deux moitiés en parallèle de l'anneau. Pour avoir dès lors sa grandeur il suffit de faire la somme des projections de tous les vecteurs élémentaires sur cette direction $\alpha\beta$.

Considérons l'ensemble de 2 spires jointes par un diamètre de l'anneau faisant un angle θ avec $\alpha\beta$. La projection sur $\alpha\beta$ du vecteur $o\varphi$ correspondant à ces deux spires sera :

$$o\varphi \cos\left(\frac{\pi}{2} - \theta\right) = \lambda \frac{i}{2} \sin\theta.$$

Par unité d'angle il y a $\frac{n}{2\pi}$ vecteurs. La somme des projections de tous ces vecteurs élémentaires sera donc :

$$\Phi = \int_0^{\pi} \frac{n}{2\pi} \lambda \frac{i}{2} \sin\theta \, d\theta = \frac{n}{2\pi} \lambda i.$$

Le vecteur élémentaire correspondant aux spires en court-circuit sera normal au vecteur φ et susceptible de représenter un petit flux indépendant λj, j étant le courant qui traverse les sections en court-circuit.

L'ensemble des spires en circuit a un certain coefficient de self-induction L que nous allons maintenant déterminer grâce à la connaissance du flux Φ.

Une spire faisant un angle θ avec la direction αβ est traversée par un flux :

$$\frac{\Phi}{2} \sin \theta.$$

Chacune des deux moitiés en parallèle de l'anneau est donc traversée par un flux :

$$\int_0^\pi \frac{n}{2\pi} \frac{\Phi}{2} \sin\theta \, d\theta = \frac{n}{2\pi} \Phi = \frac{n^2}{4\pi^2} \lambda i.$$

Le coefficient de self-induction de l'une des deux moitiés en parallèle de l'anneau est donc :

$$\frac{\frac{n^2}{4\pi^2} \lambda i}{\frac{i}{2}} = \frac{n^2}{2\pi^2} \lambda$$

et le coefficient de self-induction de l'ensemble des deux moitiés en parallèle :

$$L = \frac{n^2}{4\pi^2} \lambda.$$

Nous remarquerons, en outre, que la somme des lignes de force qui, émises par les spires en circuit, traversent les spires en court-circuit sous les balais est nulle puisque $\frac{\Phi}{2} \sin(o) = o$.

C'est dire que le coefficient d'induction mutuelle entre l'ensemble des spires en circuit et chacune des spires en court-circuit

$$M = o.$$

Des calculs précédents il résulte que si le courant i amené dans l'anneau par les balais est variable, il y aura dans l'ensemble des spires en circuit, soit que l'anneau tourne, soit qu'il soit au repos, une force électromotrice induite par self-induction qui sera égale à

$$L \frac{di}{dt} = \frac{n^2}{4\pi^2} \lambda \frac{di}{dt}.$$

En outre, M étant nul, le fait du passage d'un courant variable dans les spires en circuit n'exercera aucun effet dans les spires en court-circuit et réciproquement; si l'anneau tourne, le processus de la commutation, correspondant à une variation rapide du courant j dans les sections en court-circuit — variation dont le taux moyen est $\frac{i}{\tau}$, i étant le courant amené par les balais, τ la durée du court-circuit de chaque spire — n'aura aucune influence résultante sur l'ensemble des spires en circuit.

Envoyons maintenant dans l'anneau des courants tétraphasés par 4 balais à 90° les uns des autres, α, β, γ, δ (fig. 4), les balais α, β servant, par exemple, au passage du courant I $\sin \omega t$, les balais γ δ au passage du courant I $\cos \omega t$. *Il y aura, dans ces conditions, simultanément 4 spires en court-circuit, à 90° les unes des autres*, et nous aurons alors à considérer un certain coefficient d'induction mutuelle M soit entre : d'une part, les spires en circuit en tant que ces spires sont traversées par le courant I $\cos \omega t$ amené par les balais γ δ, d'autre part, les spires en court-circuit sous les balais α β ; soit entre : d'une part, les spires en circuit en tant que ces spires sont traversées par le courant I $\sin \omega t$ amené par les balais α β, d'autre part, les spires en court-circuit sous les balais γ δ.

Ce coefficient d'induction mutuelle est d'une détermination immédiate.

Si, par exemple, on amenait seulement un courant i par les balais γ δ les spires en court-circuit

sous les balais α β seraient chacune traversées par un flux.

$$\frac{\Phi}{2} = \frac{n}{4\pi} \lambda i.$$

D'où l'on déduit que

$$M = \frac{n}{4\pi} \lambda.$$

La force électromotrice induite dans chacune des spires en court-circuit sous les balais α β, du fait que l'on amène un courant variable I $\cos\omega t$ par les balais γ δ, sera donc

$$M\omega I \sin \omega t = \frac{n}{4\pi} \lambda\omega I \sin \omega t.$$

Celle induite dans chacune des spires en court-circuit sous les balais γ δ sera de même

$$\frac{n}{4\pi} \lambda\omega I \cos \omega t.$$

Ces forces électromotrices développeront au repos certains courants supplémentaires dans les spires en court-circuit dont l'intensité dépendra évidemment de la résistance de leur court-circuit. Avec des balais en charbon ces courants seront généralement assez faibles.

Faisons maintenant tourner l'anneau à une vitesse angulaire ω_1 dans un sens arbitraire.

Les forces électromotrices développées dans les spires en court-circuit conserveront toujours les mêmes expressions, mais, dès que l'anneau tourne, il se produit dans ces spires un phénomène absolument nouveau : la commutation. *Ce phénomène est imposé mécaniquement en quelque sorte par la rotation même de l'anneau sans qu'aucune autre considération puisse prévaloir. Quelle que soit la forme du courant de court-circuit, à quelque prix que la commutation soit d'ailleurs obtenue, il est indubitable que le taux moyen de la variation du courant j dans les spires en court-circuit* est : sous les balais α β, $\frac{I \sin \omega t}{\tau}$; sous les balais γ δ, $\frac{I \cos \omega t}{\tau}$, τ étant la durée du court-circuit de chaque spire.

Cette altération rapide du courant dans les sections en court-circuit, imposée d'une manière artificielle par le déplacement relatif du collecteur et des balais, développe dans les spires en circuit certaines forces électromotrices.

Entre les balais γ δ, la force électromotrice totale développée grâce à l'induction mutuelle exercée par les deux spires en court-circuit sous le balai α et sous le balai β aura, dans une durée élémentaire τ, la valeur *moyenne*.

$$2M \frac{I \sin \omega t}{\tau} = \frac{n}{2\pi} \lambda \frac{I \sin \omega t}{\tau}.$$

Entre les balais α β la force électromotrice *moyenne* développée par suite de la commutation qui s'opère dans les balais γ δ sera de même dans la durée élémentaire τ :

$$\frac{n}{2\pi} \lambda \frac{I \cos \omega t}{\tau}.$$

Dans l'hypothèse où les balais ont exactement la largeur d'une lame, c'est-à-dire dans l'hypothèse où il y a constamment sous chaque balai une spire en court-circuit et une seule

$$\tau = \frac{2\pi}{\omega_1 n}.$$

Ces calculs étant faits, voyons quel sera, par exemple, la force électromotrice totale e développée entre les balais α, β.

Tout comme si l'anneau était parcouru seulement par le courant alternatif simple I $\sin \omega t$

amené par les balais α, β, il y aura d'abord une force électromotrice de self-induction,

$$e_1 = \frac{n^2}{4\pi^2} \lambda \omega \mathrm{I} \cos \omega t.$$

Mais, par le fait que des commutations s'opèrent en outre dans les spires en court-circuit à 90° sous les balais γ δ, il y aura, par induction mutuelle, une nouvelle force électromotrice développée,

$$e_2 = \frac{n}{2\pi} \lambda \frac{\mathrm{I} \cos \omega t}{\tau} = \frac{n^2}{4\pi^2} \lambda \omega_1 \mathrm{I} \cos \omega t.$$

(Nous laissons au lecteur le soin de s'assurer que si l'on convient de tenir ω_1 pour positif lorsque l'anneau tourne dans le sens du champ tournant produit, e_2 est de signe opposé à e_1).

La somme des deux forces électromotrices développées dans l'ensemble des spires en circuit entre les balais α β se trouve donc être :

$$e = e_1 + e_2 - \frac{n^2}{4\pi^2} \lambda \omega \mathrm{I} \cos \omega t = \frac{n^2}{4\pi^2} \lambda \omega_1 \mathrm{I} \cos \omega t = \mathrm{L}\,[\omega - \omega_1]\,\mathrm{I} \cos \omega t.$$

C'est, à la chute ohmique près, le voltage que l'on constatera entre les balais α β.

L'inductance par phase est donc par le fait de la rotation portée à la valeur $\mathrm{L}\,(\omega - \omega_1)$.

Si $\omega_1 < \omega$, l'inductance est simplement réduite. Si $\omega_1 = \omega$, elle est rendue nulle. Si $\omega_1 > \omega$, elle devient négative, c'est-à-dire *que l'anneau se comporte comme un condensateur*. Enfin si on fait ω_1 négatif en faisant tourner l'anneau en sens inverse du champ, on accroît indéfiniment son inductance.

Dans tous les cas, la rotation de l'anneau en produisant des forces électromotrices en quadrature avec les courants ne fait que régler la plus ou moins grande absorption de courants *déwattés* en avance ou en retard et il n'y a par conséquent pas de travail produit par la rotation, ce qui était évident *a priori*.

L'essai que nous avons fait avec M. Boucherot a mis expérimentalement ces conclusions en évidence.

L'utilisation industrielle de la propriété que nous venons d'exposer conduirait naturellement à faire fonctionner l'anneau dans les conditions où son inductance serait la plus faible possible, négative s'il se pouvait. Aussi, bien des inventeurs pourraient-ils être tentés de faire $\omega_1 > \omega$ de façon à absorber des courants déwattés en avance c'est-à-dire à engendrer des courants magnétisants. Mais le problème de la commutation sans étincelles se pose immédiatement au point de vue pratique.

Les balais α, β, γ, δ étant supposés avoir la largeur d'une lame du collecteur, portent constamment sur deux lames à la fois. Nous dirons, suivant une appellation de Thorburn Reid, que la commutation se produit « parfaite » dans une spire en court-circuit, si elle s'opère de telle façon que la densité du courant sous toute l'étendue du balai qui court-circuite cette spire, c'est-à-dire en face des deux lames sur lesquelles il porte à la fois, reste uniforme pendant toute la durée du court-circuit, soit de telle façon que le balai fonctionne rigoureusement comme un frotteur amenant du courant sur une bague.

Dans le cas de balais rectangulaires, il est facile de s'assurer qu'une semblable commutation suppose une variation linéaire du courant de court-circuit j.

Nous désignerons par r la résistance d'une spire et par ε la force électromotrice de renversement capable d'assurer la commutation parfaite.

Si la commutation parfaite se produit effectivement, l'équation du courant de court-circuit est facile à écrire dans toute sa rigueur.

Les deux lames sous le balai, c'est-à-dire les deux extrémités de la spire court-circuitée, sont alors, en effet, au même potentiel *quelle que soit la nature du balai* par suite d'une chute ohmique uniforme dans le contact. En outre comme la commutation se produit d'une manière symétrique dans la spire diamétralement opposée, elle aussi parcourue dès lors à tout instant par le même

courant j, la force électromotrice qui s'oppose à la commutation est, dans chaque spire,

$$\frac{\lambda}{2}\frac{dj}{dt}.$$

On a, par suite, dans le cas de la commutation parfaite, avec une valeur constante pour $\frac{dj}{dt}$,

$$\varepsilon - \frac{\lambda}{2}\frac{dj}{dt} - jr = 0.$$

Soit

$$\varepsilon = \frac{\lambda}{2}\frac{dj}{dt} + jr.$$

La chute ohmique variable jr dans la spire reste négligeable devant le terme $\frac{\lambda}{2}\frac{dj}{dt}$ dès que l'anneau est placé dans un milieu magnétique et l'on peut écrire que la commutation parfaite est pratiquement assurée dès que

$$\varepsilon = \frac{\lambda}{2}\frac{dj}{dt}.$$

Dans la spire sous le balai α, $\frac{dj}{dt}$ a, dans ce cas, une valeur constante qui est égale à :

$$\frac{\mathrm{I}\sin\omega t}{\tau} = \frac{n\omega_1}{2\pi}\mathrm{I}\sin\omega t.$$

Dans cette spire, la commutation, pour être parfaite, exige donc une force électromotrice étrangère :

$$\varepsilon = \frac{n}{4\pi}\lambda\omega_1\mathrm{I}\sin\omega t.$$

Or, nous avons vu plus haut que, quelle que soit la vitesse ω_1, la force electromotrice induite dans la spire en court-circuit sous le balai α du fait que l'anneau est traversé par des courants variables est exactement

$$\frac{n}{4\pi}\lambda\omega\mathrm{I}\sin\omega t.$$

Il s'en suit qu'on aura une commutation parfaite pour $\omega_1 = \omega$ c'est-à-dire au synchronisme. Au-dessous, $\omega_1 < \omega$, on disposera d'une force électromotrice de renversement *trop forte* pour une semblable commutation ; au-dessus, $\omega_1 > \omega$, d'une force électromotrice de renversement *trop faible*.

La marche synchrone correspondant au cas où l'inductance de l'anneau est nulle permettrait donc seule un fonctionnement parfait au point de vue de la commutation. La suppression de l'inductance et des étincelles sont deux phénomènes connexes (1).

C'est à la suite de cette dernière considération que nous avons été conduit dans notre brevet à porter plus spécialement notre attention sur la marche synchrone (2). Il va de soi que la diminution progressive de l'inductance avec ω_1 croissant *n'avait pu nous échapper* et que nous envisagions la marche dans le voisinage immédiat du synchronisme simplement parce qu'elle nous permettait, *avec une bonne commutation*, la réduction extrême de l'inductance du rotor. Il nous était

---

(1) Nous ferons en temps opportun les réserves nécessaires au sujet de la coexistence de ces deux phénomènes.

(2) Extrait du brevet français déposé le 13 décembre 1901 sous le titre : « Alternateur auto-excitateur ou Générateur de courant déwatté. »

« Supposons adapté un collecteur au stator d'un moteur asynchrone polyphasé. Dans la figure d'exposition, je considère le cas spécial des courants triphasés avec enroulement Gramme et montage en triangle, le collecteur étant formé par les conducteurs eux-mêmes mis à nu sur la périphérie externe du stator (se reporter à la figure 4 de

impossible de ne pas nous réserver, *en fait*, l'élasticité d'allure que des balais en charbon nous permettraient dans la pratique.

Notre brevet français a été demandé le 13 décembre 1900 et délivré le 15 mars 1901 [1].

La première publication de M. Heyland dans l'*Electrotechnische Zeitschrift* date du 8 août. M. Heyland dans sa figure d'exposition nous présente un moteur à cage d'écureuil où trois barres du rotor seules nous paraissent être simultanémenti ntéressées au passage des courants. Mais, dans la pratique, M. Heyland indique qu'il a, en réalité, recours à des enroulements d'induit de dynamo à courant coutinu avec collecteur. Dans ces conditions, la production du champ inducteur dans le rotor de son moteur se fait grâce à la distribution de courants polyphasés par l'intermédiaire de frotteurs portant sur un collecteur de dynamo à courant continu distribution que nous avons prévue, dans notre brevet *en tant qu'elle est susceptible de permettre l'auto-excitation des machines à courants polyphasés*.

Marius Latour.

SOCIÉTÉS SAVANTES ET TECHNIQUES

ACADÉMIE DES SCIENCES

Séance du 20 octobre [2]

Sur les variations de l'aimantation dans un cristal cubique, par **Wallerant**. *Comptes rendus*, t. CXXXIII, p. 630.

M. Weiss a montré expérimentalement que l'induction, à l'intérieur d'un cristal de magnétite placé dans un champ uniforme, variait avec la direction de ce champ. Il est facile d'établir les relations existant entre cette induction et la direction du champ, en supposant, bien entendu, que cette induction soit uniforme dans le cristal. Les composantes X, Y, Z de cette induction suivant les axes quaternaires sont des fonctions des composantes du champ suivant ces mêmes axes, autrement dit, des *cosinus directeurs* $\cos \alpha$, $\cos \beta$, $\cos \gamma$ de la direction du champ. Si l'on développe ces fonctions suivant les puissances croissantes de ces cosinus, en s'en tenant aux termes du troisième degré et en exprimant que, pour des orientations du champ symétriques par rapport aux éléments de symétrie du cristal, l'induction se reproduit symétriquement, on obtient les valeurs

$$X = R \cos \alpha \, (1 + k \cos 2\alpha),$$
$$Y = R \cos \beta \, (1 + k \cos 2\beta),$$
$$Z = R \cos \gamma \, (1 + k \cos 2\gamma),$$

R étant l'induction suivant un axe binaire et k un coefficient numérique, tendant vers zéro quand l'intensité du champ augmente.

M. Wallerant s'est proposé de vérifier l'exactitude de ces formules ; nous reproduisons ci-dessous les considérations qu'il expose à ce propos [3].

notre article). Les courants triphasés sont amenés par 3 balais calés à 120°. Si les balais restent fixes, je réalise un champ tournant, à la façon ordinaire, de vitesse ω, ω étant la pulsation des courants. Mais si je fais tourner les 3 balais calés à 120° l'un de l'autre en sens inverse avec une vitesse ω, le champ tournant redevient fixe dans l'espace. Au lieu de faire tourner les balais, je les laisse fixes et fais tourner le stator considéré dans le sens du champ avec la vitesse ω, ce qui revient au même. *J'ai alors l'équivalent d'inducteurs tournants*. Les étincelles aux balais ne sont pas à redouter parce qu'une spire quelconque de l'anneau est toujours traversée par le même flux pendant même le court-circuit. En d'autres termes le champ est fixe par rapport aux spires de l'anneau.

» Ce principe me permet immédiatement de réaliser des alternateurs auto-excitateurs. »

Ces alternateurs sont constitués par un stator induit et *un rotor inducteur*.

Nous avons indiqué dans le texte du brevet la propriété que ces alternateurs pourraient avoir de commune avec les moteurs synchrones d'engendrer des courants magnétisants dès que le rotor est surexcité.

(1) Des notes rédigées sur des projets d'alternateurs auto-excitateurs ont été présentées, dès les mois de janvier et de février, à presque tous les constructeurs français.

(2) Aucune communication concernant l'électricité n'a été présentée aux séances des 7 et 14 octobre.

(3) « Pour vérifier l'exactitude de ces formules, je ferai remarquer que, si l'on désigne par Q et T l'induction

suivant les axes quaternaires et ternaires, elles nous fournissent la relation $3T + Q = 4R$, qui permet de calculer R, connaissant T et Q. Or, dans des champs sensiblement égaux à 77 et 327 C. G. S., M. Weiss a obtenu les valeurs suivantes, pour T : 347 et 418 ; pour Q : 271 et 365 ; pour R : 323 et 403. Or, la formule précédente donne pour R les valeurs 325 et 404 ; il y a donc concordance parfaite. Pour ces valeurs du champ, k est à peu de chose près égal à $-\frac{1}{6}$ et $-\frac{1}{10}$.

» D'autre part, ces mêmes formules permettent de calculer la composante B' de l'induction parallèle au champ : on en tire en effet

$$B' = R + Rk(\cos^2\alpha \cos 2\alpha + \cos^2\beta \cos 2\beta + \cos^2\gamma \cos 2\gamma).$$

» Si l'on considère B' comme un rayon vecteur, cette équation représente une surface ayant pour éléments de symétrie les éléments de symétrie du cube, et nous la désignerons sous le nom de *surface des inductions parallèles*. Or il est facile de voir que le coefficient de K, dans cette équation, est nul pour toutes les directions perpendiculaires à un axe ternaire, par conséquent la courbe d'intersection par un plan diamétral parallèle à une face de l'octaèdre est un cercle : ce que M. Weiss a vérifié expérimentalement.

» On voit donc que les formules données plus haut reproduisent toutes les particularités constatées expérimentalement. Elles permettront donc de calculer l'induction et ses cosinus directeurs en fonction des cosinus directeurs du champ.

» L'étude de la surface des inductions parallèles fournit quelques conclusions intéressantes. Et d'abord, cette induction parallèle a même valeur pour toutes les génératrices d'un cône ayant pour équation

$$\cos^2\alpha \cos 2\alpha + \cos^2\beta \cos 2\beta + \cos^2\gamma \cos 2\gamma = C.$$

Suivant la valeur de C, le cône se compose de trois nappes ayant pour axes les axes quaternaires, ou de quatre nappes ayant pour axes les axes ternaires ; les deux catégories de cônes étant séparées par les plans diamétraux perpendiculaires aux ternaires et qui correspondent à la valeur $C = 0$.

» Il est une valeur particulièrement intéressante de C, la valeur $-\frac{1}{k}$. Pour toutes les génératrices de ce cône, l'induction est perpendiculaire sur la direction du champ ; pour toutes les directions à l'intérieur du cône, l'induction fait un angle aigu avec la direction du champ et le corps est paramagnétique, tandis qu'il est diamagnétique pour toutes les directions à l'extérieur du cône. Mais, pour que ce cône soit réel, il faut que k soit plus grand que 3 ou plus petit que -1 ; or, il est probable que, le plus souvent, k est plus petit que l'unité en valeur absolue. Il faut donc s'attendre à ne rencontrer qu'exceptionnellement des corps paramagnétiques suivant certaines directions et diamagnétiques suivant d'autres.

» Si l'on considère successivement toutes les directions d'un plan comme directions du champ, en général la projection de l'induction sur le plan ne coïncidera pas avec la direction du champ ; cette coïncidence se produit pour quatre directions, qui sont celles des rayons vecteurs maxima ou minima de la courbe d'intersection par le plan de la surface des inductions parallèles. En outre, on démontre sans difficulté que les cônes d'égale induction parallèle passant par ces quatre directions sont tangents au plan et que ces directions sont des axes de moyennes distances *perpendiculaires* sur leur direction conjugée par rapport aux projections sur le plan des quatre axes ternaires du cristal.

» En passant, je ferai remarquer que cette construction des axes d'une section diamétrale s'applique à toutes les surfaces ayant la symétrie du cube et dont l'équation ne renferme que les expressions

$$x^2 + y^2 + z^2, \quad x^2y^2 + x^2z^2 + y^2z^2.$$

» J'ajouterai un mot sur les cristaux rhomboédriques. Si l'on prend pour axe des z l'axe ternaire, pour axe des y un axe binaire et pour axe des x la commune perpendiculaire aux deux autres axes, on obtient pour les composantes de l'induction les expressions

$$X = A\cos\alpha\,(1 + k\cos 2\gamma) + B\cos\gamma\,(\cos^2\alpha - \cos^2\beta),$$
$$Y = A\cos\beta\,(1 + k\cos 2\gamma) - 2B\cos\alpha\cos\beta\cos\gamma,$$
$$Z = C\cos\gamma\,(1 + k_1\cos 2\gamma).$$

» On voit donc que, si C est nul ou suffisamment petit pour être pratiquement considéré comme nul, l'induction sera perpendiculaire à l'axe ternaire pour toute direction du champ, et nulle quand le champ coïncidera avec cet axe ternaire. C'est ce qui a lieu, d'après M. Weiss, dans la pyrrhotine. »

Séance du 28 octobre 1901 [1]

Essais sur quelques réactions chimiques déterminées par le radium, par **Berthelot**.

Comptes rendus, t. CXXXIII, p. 659-664.

L'auteur a fait quelques essais pour comparer certaines des réactions chimiques spécifiques, déterminées par la lumière et par l'effluve électrique, à celles que le radium est susceptible de provoquer. Ces expériences sont pénibles, en raison des faibles quantités de chlorure de radium mis en œuvre (0,1 environ dans les essais actuels), de la nécessité d'opérer à travers des enveloppes de verre, qui absorbent une partie des radiations, peut-être la plus efficace dans certains cas; enfin de la durée exigée par l'accomplissement des phénomènes.

Le produit, remis par M. Curie, était enfermé dans un petit tube en verre scellé à la lampe. Pour obtenir des résultats plus nets, M. Berthelot a cru devoir placer ce petit tube dans un tube concentrique, fort mince d'ailleurs et à peu

(1) Outre les deux communications analysées ci-dessus, est encore à signaler une communication de M. M. Leblanc, sur la *Stabilité de la marche des commutatrices*, sujet qui a été développé par l'auteur dans un article publié dans le dernier numéro de ce journal, p. 229.

près tangent au précédent. Le système a été alors, suivant les cas, tantôt immergé dans un tube à essai, au centre des matières liquides ou pulvérulentes qu'on se proposait d'influencer à travers la double épaisseur de verre mise en contact, tantôt simplement juxtaposé à un tube de ce genre, ce qui constituait trois épaisseurs de verre interposées.

On opérait dans une armoire close, complètement obscure. A une certaine distance, c'est-à-dire à quelques décimètres, dans la même armoire, on plaçait chaque fois un système tout pareil, renfermant la même substance, mais sans radium, afin de servir de témoin.

Voici les résultats des essais exécutés depuis le 12 juillet 1901 jusqu'au 25 octobre.

L'anhydride iodique I^2O^5, maintenu à 23° et actionné par le radium, ne présente de décomposition sensible qu'au bout de neuf jours; après quinze jours la vapeur d'iode est bien manifeste et sa dose augmente lentement. Le tube témoin placé à l'obscurité est demeuré parfaitement blanc. La décomposition de l'anhydride qui, comme on sait, se produit sous l'influence de la lumière, est endothermique.

1. Un échantillon d'acide azotique AzO^3H, conservé depuis trois ans à l'obscurité et tout à fait incolore, a pris, au bout de deux heures d'action du radium, une coloration jaune. La réaction est, comme la précédente, endothermique.

2. La transformation du soufre soluble en soufre insoluble, la polymérisation de l'acétylène, l'oxydation de l'acide oxalique par l'oxygène, qui se produisent sous l'action de la lumière ou de l'effluve n'ont pas lieu sous l'influence du radium.

3. Comme l'ont observé déjà plusieurs expérimentateurs, le verre est noirci par les radiations du radium.

Contribution à l'étude des alliages cuivre-aluminium, par **Léon Guillet**. *Comptes rendus*, t. CXXXIII, p. 684-686.

L'étude de ces alliages, qui a déjà été l'objet de recherches très importantes de M. Le Châtelier (1), a été reprise par M. Guillet. Celui-ci les obtient en réduisant, suivant la méthode de Goldschmidt, l'oxyde de cuivre par l'aluminium en poudre. Il est parvenu ainsi à isoler les trois combinaisons sigalées dans les recherches de M. Le Châtelier et qui correspondent aux formules Cu^3Al, $CuAl$, Al^2Cu.

(1) *Bulletin de la Société d'Encouragement pour l'industrie nationale*, avril 1895, juin 1899, septembre 1900.

Séance du 4 novembre 1901.

Sur quelques effets chimiques du rayonnement du radium, par **Henri Becquerel**. *Comptes rendus*, t. CXXXIII, p. 709-713.

Après avoir rappelé les connaissances actuelles sur la constitution du rayonnement du radium et l'effet de ce rayonnement sur le verre, M. H. Becquerel signale les phénomènes:

1° Transformation du phosphore blanc en phosphore rouge sous l'influence du radium;

2° Réduction du bichlorure de mercure en présence de l'acide oxalique;

3° Destruction de la faculté de germer des graines exposées plusieurs jours au radium.

Electrolyse du chlorure et de l'iodure d'ammonium en solution dans l'ammoniac liquéfié, par **Henri Moissan**. *Comptes rendus*, t. CXXXIII, p. 713-715.

L'ammoniac liquéfié à — 80° n'est pas conducteur du courant; dès qu'on y dissout du chlorure ou de l'iodure d'ammonium l'électrolyse se produit. A l'électrode négative il se dégage de l'hydrogène pur; à l'électrode positive, du chlore et de l'iode libres, ces métalloïdes, qui réagissent sur l'ammoniac avec tant d'énergie à la température ordinaire, n'ayant pas d'action sur le dissolvant à la température de — 80°.

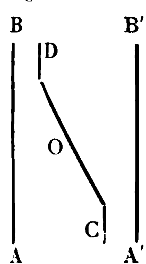
Sur une méthode propre à déceler de très petites charges électriques, par **R. Blondlot**. *Comptes rendus*, t. CXXXIII, p. 717-719,

Lorsque l'on a perfectionné les électromètres et les méthodes électrométriques, on a eu en vue presque exclusivement l'étude de différences de potentiel très faibles existant entre deux sources. Or, il arrive parfois que l'on n'a pas affaire à des sources, mais à des corps possédant des charges déterminées très faibles, qu'il s'agit d'évaluer, ou tout au moins de déceler. Un cas de ce genre s'est présenté à M. Blondlot.

Il s'agissait d'étudier la charge, extrêmement faible, d'une plaque P en laiton, ayant la forme d'un rectangle de 1,3 cm et 2,8 cm de côté, sup-

portée par un manche en paraffine collé au milieu de l'une de ses faces. Après avoir essayé sans succès de se servir des électromètres et électroscopes usuels, tant hétérostatiques qu'idiostatiques, l'auteur fut conduit à employer une méthode nouvelle, qu'il expose ainsi :

« Je construisis d'abord un électroscope ou électromètre idiostatique extrêmement sensible. Les parties essentielles de cet instrument sont figurées ci-dessous en projection horizontale.



Deux plaques rectangulaires en laiton AB et A'B', hautes de 2,4 cm et larges de 2 cm, sont assujetties verticalement en regard l'une de l'autre à une distance de 1,5 cm ; la plaque AB est isolée, la plaque A'B' est reliée au sol. La pièce *mobile*, que j'appellerai l'*aiguille*, est formée d'une lame d'aluminium rectangulaire que l'on a pliée deux fois, comme l'indique la figure. Elle est suspendue à un fil de torsion en quartz, par l'intermédiaire d'un fil de verre rigide projeté en O et long de 4 cm, dans une position symétrique par rapport à AB et à A'B' ; son orientation est telle que, en l'absence de toute charge, les portions planes C et D sont parallèles à AB et A'B'. La portion médiane CD de l'aiguille a été évidée, afin de diminuer à la fois son inertie et la résistance de l'air ; l'aiguille est un peu moins haute que AB et A'B, et les distances de C et D aux armatures en regard sont d'environ 0,2 cm. Lorsque AB a reçu une charge, positive par exemple, cette charge attire en C de l'électricité négative, et, comme l'aiguille est isolée, il se produit en D une charge positive qui, à son tour, attire sur A'B' de l'électricité négative. Les attractions de AB sur C, et de A'B' sur D concourent pour faire tourner l'aiguille et l'équilibre s'établit après une certaine déviation, grâce à la torsion du fil de quartz. Cette déviation est sensiblement proportionnelle au carré de la charge donnée à AB ; un miroir collé au fil permet de la mesurer par la méthode de la réflexion.

« Afin de pouvoir communiquer à AB une quantité donnée d'électricité, par exemple la charge d'un conducteur isolé, AB est relié par un fil métallique à un conducteur creux ; le conducteur chargé étant introduit dans la cavité de façon à en toucher le fond, puis retiré, sa charge a passé presque en totalité sur AB, à cause de la capacité relativement grande du condensateur formé par AB et par C.

« Pour accroître la sensibilité, j'emploie une méthode de répétition : on a un plan d'épreuve de mêmes dimensions que la plaque P, et monté sur un manche en paraffine. Ce plan d'épreuve est approché de la plaque jusqu'à une distance de 0,2 cm, mis en communication avec le sol, puis isolé ; il a ainsi acquis une charge x ayant sensiblement la même valeur numérique que la charge de P, et de signe contraire. La charge x est ensuite communiquée à AB à l'aide du conducteur creux. En répétant n fois cette opération, on accumule sur AB une charge nx.

« L'artifice suivant m'a permis d'augmenter beaucoup plus encore la sensibilité. Au lieu de charger le plan d'épreuve par l'influence de la seule charge de la plaque à étudier, je dispose en regard de celle-ci, à la distance de 10 cm environ, un plateau métallique d'environ 2 dm² de surface, dont le potentiel est maintenu, à l'aide d'une pile, à une valeur choisie d'avance. Lors donc que l'on fait avec le plan d'épreuve la manœuvre décrite plus haut, ce plan emporte à chaque fois non seulement la charge x, mais encore une charge Q due à l'influence du plateau auxiliaire. Au bout de n opérations, l'électromètre a ainsi reçu une charge égale à $n\,(Q + x)$ et prend une déviation correspondant à $n^2\,(Q + x)^2$.

Si maintenant, après avoir déchargé l'électromètre et la plaque P que l'on étudie, on recommence les n opérations, on obtient une déviation correspondant à n^2Q^2. L'excès de la première déviation sur la seconde correspond donc à $2n^2Qx + n^2x^2$. Cette quantité, qui s'annule en même temps que x, peut être rendue beaucoup plus grande que x^2, en donnant à n et à Q des valeurs suffisamment grandes; Q étant ainsi toujours très grand par rapport aux valeurs que x prend dans les expériences, la quantité $2n^2Qx + n^2x^2$ a toujours le même signe que Qx, et, comme le signe de Q est connu d'avance, on en déduit celui de x et, par conséquent, celui de la charge de P. C'est, comme on le voit, une application du principe hétérostatique.

» Des précautions minutieuses sont nécessaires pour que des inégalités de température ne viennent pas produire dans la cage de l'électromètre de faibles courants d'air capables de troubler l'équilibre de l'aiguille. Il faut aussi se garer des électrisations que des frottements

fortuits pourraient produire sur les supports isolants : à cet effet, tous ces supports, formés de paraffine, sont eux-mêmes fixés dans des tubes de laiton que l'on tient à la main sans jamais toucher la paraffine. Il convient aussi d'avoir des plans d'épreuve de rechange, afin d'en changer dès que des traces d'électrisation, dues à des causes accidentelles presque impossible à éviter, commencent à apparaître sur le manche isolant de celui dont on se sert, ce qu'il est aisé de reconnaître à l'aide de l'appareil lui-même.

» Afin d'étudier la sensibilité de la méthode j'ai donné à la plaque P des charges connues d'avance. Pour cela, on entourait cette plaque d'un anneau de garde, puis on disposait en regard un plateau indéfini, relié à la terre ; en chargeant ce condensateur à l'aide d'une pile, on obtenait sur P une charge facile à calculer, connaissant sa surface, sa distance au plateau indéfini et la force électromotrice de la pile. En employant un Leclanché, et la distance étant 2 cm, la charge de P fut trouvée correspondre, toutes opérations et réductions faites, à 23 mm en moyenne de la règle servant à mesurer les déviations par la méthode de réflexion, avec des écarts de $\pm$ 3 mm ou 4 mm dus à des perturbations d'origine inconnue. J'ai pu aisément déceler des charges notablement inférieures aux précédentes, et en déterminer les signes [1]. »

Séance du 11 novembre 1901

Sur la formation de l'ozone, par **A. Chassy.** *Comptes rendus*, t. CXXXIII, p. 789.

L'auteur a étudié la façon dont s'accroît la teneur en ozone en faisant passer l'effluve électrique pendant un temps de plus en plus long dans une masse déterminée d'oxygène, en maintenant constante l'intensité du courant. L'appareil utilisé est l'ozoneur de M. Berthelot.

Un premier point constaté est que la loi d'accroissement de la proportion d'ozone est la même, quelle que soit l'intensité du courant : un courant faible peut toujours produire le même résultat qu'un courant intense, pourvu qu'il agisse pendant un temps assez long ou pourvu que l'écoulement du gaz soit assez lent, dans un appareil à production continue.

Le tableau suivant indique la loi de formation numérique de l'ozone à la température de 20°. Il représente la quantité totale d'ozone (en millièmes de la masse totale) que l'on obtient en faisant agir la décharge sur de l'oxygène pur, pendant un temps exprimé, en prenant pour unité la durée de passage de l'effluve nécessaire pour transformer en ozone 1/2 p. 100 de la masse d'oxygène.

Durées.	Quantités d'ozone.	Durées.	Quantités d'ozone.
1	5	10	31,5
2	9.1	12	34.5
3	12,7	14	37.4
4	16,1	20	44
5	19.2	36	54
6	22,2	60	64,5
7	25	90	70,5
8	27,2	120	73

La courbe qui traduit ces résultats est asymptotique à une parallèle à l'axe des temps. La quantité d'ozone tend vers une limite qui dépend uniquement de la température et non de l'intensité du courant.

De ce tableau, il résulte que pour obtenir une teneur de 70 millièmes, il faut une dépense quatre-vingt-dix fois plus grande que pour une teneur de 5 millièmes, en supposant qu'on maintienne constantes les conditions de fonctionnement de la bobine. En ne considérant que le prix de l'énergie électrique, on a donc intérêt, pour obtenir la plus grande quantité possible d'ozone, à n'enrichir que faiblement l'oxygène et, par suite, à activer la circulation de ce gaz.

Le Gérant : C. NAUD.

[1] Signalons une note de M. Raulin sur le magnétisme terrestre présentée à cette même séance et que les nécessités de la mise en pages nous forcent à remettre au prochain numéro.

Tome XXIX. Samedi 30 Novembre 1901. 8e Année. — N° 48.

L'Éclairage Électrique

REVUE HEBDOMADAIRE DES TRANSFORMATIONS

Électriques — Mécaniques — Thermiques

DE

L'ÉNERGIE

SUR LES EXCITATEURS ET RÉSONATEURS HERTZIENS

A PROPOS D'UN ARTICLE DE M. JOHNSON

M. Johnson a publié dans le numéro du 3 août (t. XXVIII, p. 178), sur la télégraphie sans fil, un article dont les conclusions sont tout à fait paradoxales. Il suffit de les lire pour voir qu'elles ne peuvent être acceptées, mais l'erreur de son raisonnement pourrait échapper à quelques lecteurs.

L'auteur adresse d'abord à la théorie de Hertz plusieurs objections qui me paraissent mal fondées ; les plus importantes ne sont que la reproduction des critiques anciennes de MM. Hagenbach et Zehuder, déjà plusieurs fois réfutées.

M. Johnson propose ensuite un essai de théorie où je distinguerai deux parties : une théorie de l'excitateur, et une théorie du résonateur.

La première partie mérite de fixer un instant l'attention. D'après les idées reçues, dès que la différence de potentiel des deux moitiés de l'excitateur est assez grande, l'étincelle éclate, la résistance de la distance explosive est brusquement supprimée et les oscillations commencent; pendant un certain temps, les conducteurs de l'excitateur sont parcourus par des courants alternatifs et la distance explosive par une étincelle oscillante.

D'après M. Johnson les choses se passeraient tout autrement. Quand l'étincelle éclate, une certaine quantité d'électricité est transportée d'une des moitiés de l'excitateur sur l'autre ; mais immédiatement après la distance explosive redevient isolante. Mais des courants oscillants naissent dans les deux moitiés de l'excitateur, qui vibrent chacune pour leur compte.

Il résulte des calculs de M. Johnson que, si le petit condensateur formé par les deux

boules de l'excitateur a une capacité suffisamment grande, les oscillations des deux moitiés de l'excitateur auront même période, et que cette période est celle qu'aurait l'oscillateur entier si la distance explosive était devenue conductrice. Cela resterait vrai si même les deux parties de l'excitateur n'étaient pas identiques.

L'hypothèse de M. Johnson n'est pas absurde par elle-même : mais elle se trouve contredite par les expériences de M. Décombe et de M. le lieutenant de vaisseau Tissot qui ont pu dissocier l'étincelle par un miroir tournant et ont montré ainsi qu'il y avait une série d'étincelles et non une étincelle unique de durée très courte comme le voudrait M. Johnson.

Cette hypothèse mérite néanmoins de retenir notre attention à deux points de vue.

Il n'est pas impossible que quand les oscillations ont cessé de passer à travers la distance explosive, elles continuent dans les deux moitiés de l'excitateur, sans que la période change beaucoup ; il n'est pas probable qu'il en soit ainsi avec les excitateurs les plus employés, mais on peut se demander si cela ne pourrait pas se produire avec certaius types d'exitateurs à très courte longueur d'onde.

Ensuite si le phénomène ne semble pas devoir être constaté dans les excitateurs, il se produit probablement dans les résonateurs ouverts. On constate que la longueur d'onde de ces résonateurs dépend surtout de leur longueur et peu de la position du micromètre à étincelles. On peut se demander comment cela peut se faire, puisque, avant l'explosion de l'étincelle, chacune des parties du résonateur vibre pour elle-même, tandis qu'après l'explosion le résonateur vibre comme un tout. Il semble qu'il y a dans la remarque de M. Johnson les éléments d'une explication ; cette explication est d'ailleurs la même que j'ai développée ailleurs dans un volume de la collection Scientia.

C'est avec la théorie du résonateur que le paradoxe commence. D'après les calculs de M. Johnson, le résonateur (pourvu que la résonance soit parfaite) répondrait aussi bien quel que soit le coefficient d'induction mutuelle, c'est-à-dire quelle que soit la distance. L'auteur prétend expliquer par là les merveilleux effets de distance de la télégraphie sans fil. L'explication ne serait guère satisfaisante, puisque justement, dans la télégraphie sans fil, la résonance est très imparfaite.

En tout cas l'énoncé est trop paradoxal pour ne pas exciter notre méfiance. Nous observerons d'abord que M. Johnson fait le calcul en supposant l'emploi d'un électromètre ; or, en télégraphie sans fil, on ne se sert pas d'électromètre mais de récepteurs qui fonctionnent suivant des lois essentiellement différentes.

Il est clair cependant que ce n'est pas là l'explication du paradoxe, car personne n'admettra qu'il suffise de se servir d'un électromètre pour communiquer avec l'étoile Sirius.

L'auteur ne paraît pas tenir compte des courants de déplacement qui, dans nos idées actuelles devraient jouer un rôle prépondérant. Ce n'est pas là non plus l'explication, car il est évident que l'énoncé de M. Johnson n'aurait pas semblé moins paradoxal avant Maxwell qu'aujourd'hui.

Il faut qu'il y ait là une simple faute de calcul et c'est en effet ce que l'on constate. Si, comme M. Johnson, nous supposons que

$$C_1L_1 = C_2L_2, \qquad C_1R_1 = C_2R_2$$

et si, passant à la limite (pour une distance infinie) nous faisons $\mu = 0$, il viendra $\rho = 0$, le rapport $\frac{\mu}{\rho}$ restant d'ailleurs fini. D'autre part on aura (équations 13) :

$$p_1 = p_2, \qquad q_1 = q_2$$

et par conséquent (équations 12 a) :

$$X_1 + X_2 = Y_1 + Y_2 = 0$$

et l'expression de E_2 deviendra :

$$E_2 = (X_1 + X_2)\, e^{-q_1 t} \sin p_1 t + (Y_1 + Y_2)\, e^{-q_1 t} \cos p_1 t = 0.$$

On devrait donc trouver

$$\mathfrak{Z} = 0.$$

Or l'expression de $\mathfrak{Z}$, telle qu'elle est imprimée, ne conduit pas à ce résultat. Il y a des fautes d'impression évidentes, mais, même en les corrigeant, on voit que c'est dans le calcul de cette expression que M. Johnson s'est trompé. Il suffit d'ailleurs d'observer que $\mathfrak{Z}$ doit être nul pour comprendre que les conclusions sont erronées.

H. Poincaré.

GRANDS ALTERNATEURS

A l'occasion de l'Exposition Universelle, presque tous les journaux électriques ont publié des descriptions plus ou moins détaillées des grands alternateurs qui illustraient l'énorme développement de l'industrie électrique. Comme la construction des machines électriques de ces grandes puissances est d'une date relativement récente et que les opinions des constructeurs diffèrent encore sur plus d'un point important, j'ai cru utile de comparer en détail les constantes d'un certain nombre de grands alternateurs. Je ne discuterai d'ailleurs que les machines sur lesquelles les revues techniques donnaient suffisamment de détails pour en permettre le calcul.

Les machines sont groupées selon leur puissance dans le tableau ci-joint (p. 308 et suiv.) contenant en premier lieu les plus puissantes génératrices, en dernier lieu les plus petites. Au milieu se trouvent réunies les machines de puissance moyenne, caractérisées par une forte saturation des pôles. Tout à fait en dernier sont placées celles à faible fréquence, d'environ 25 périodes [1].

---

[1] Les machines du tableau n'ont pas toutes figuré à l'Exposition ; les constructeurs ne sont pas nommés ; chaque machine n'est désignée que par son numéro. Toutes les machines du tableau se trouvent décrites dans *L'Éclairage Électrique*, et je me suis servi principalement des indications de ce journal. Toutefois, comme il s'y trouvait plusieurs chiffres douteux et que la description de quelques machines ne permettait pas d'en effectuer le calcul, j'ai eu recours aussi aux journaux suivants : 1° *Electrical World and Engineer*, New York, où M. Guilbert a donné une description assez complète des alternateurs de l'Exposition ; 2° *Elektrotechnische Zeitschrift*, Berlin ; 3° *Zeitschrift für Elektrotechnik*, Vienne.

En général, ces trois sources de mes informations sont d'accord ; elles diffèrent cependant sur quelques points, qui souvent sont des points importants, comme le nombre de conducteurs par encoche de l'induit, nombre qui détermine le flux par pôle, constante principale.

De plus elles contiennent toutes plus ou moins d'erreurs d'impression. Les descriptions de quelques machines font supposer que leurs constructeurs ont donné des renseignements inexacts pour garder le secret de leur expérience. Ainsi plusieurs machines sont absolument impossibles si l'on prenait à la lettre ce qui en est dit : pour une machine j'ai trouvé, par exemple, une induction dans les pôles de plus de 60 000 lignes par cm^2 !

Quand les descriptions données par différents journaux se contredisent ou qu'elles sont en désaccord avec le dessin, ou enfin quand elles contiennent quelque chose de matériellement impossible, j'ai adopté les constantes qui m'ont paru les plus probables et qui s'accordaient le mieux avec les autres constantes données. Pour certaines génératrices, quelques-unes des constantes ne sont pas indiquées, par exemple l'enroulement des inducteurs ; dans ce cas je me suis efforcé de suppléer à ces lacunes, d'après le dessin, autant que possible, ou d'après la tension en volts de l'excitation, etc. J'arrive ainsi à un résultat probable et en tous cas possible, sinon rigoureusement conforme à la vérité. Il est évident par cela même que les constantes trouvées pour quelques machines sont quelque peu hypothétiques.

		NU								
		1	2	3	4	5	6	7	8	9
	Kilovolts ampères	3 000	2 000	1 200	1 000	800	825	1 375	700	860
	Tours par minute	83	83	79	94	79	90	94	100	94
	Fréquence (périodes par seconde)	50	50	50	50	50	48	50	50	50
	Nombre de pôles	72	72	76	64	76	64	64	60	64
Induit.	Diam. mesuré à l'entrefer. cm	741	600	570	580	600	556	500	440	500
	Largeur du fer. cm	52	60	40	30	27	40	30	24	25
	Nombre de disques	6	—	1	—	—	—	—	—	2
	Largeur avec disques	58	60	46	30	27	40	30	24	28
	Hauteur radiale du noyau. cm	21,7	8,8	4,5	22,7	19,6	13,5	19,5	12,5	13,5
	Nombre d'encoches	1 080	648	456	384	456	192	192	180	192
	Encoches par pôle	15	9	6	6	6	3	3	3	3
	Pas des encoches	21,4	28,8	39,2	47,6	41,3	91	82	75,7	81,5
	Profondeur des encoches. mm	38	55	45	Diamètre :	29	45	45	55	65
	Largeur des encoches. mm	11	13	21	28	15,2	20	22	28	43
	Largeur de la fente. mm	11	13	—	9	3	20	22	—	—
Inducteurs.	Entrefer en. mm	10	12	5	8	7	5	4,5	5,5	7
	Pas des pôles. cm	32	26	23,6	28,5	24,8	27,3	24,6	23	24,5
	Embrassement polaire	24	17,3	18	19	20	15,5	12,5	13	15
	Embrassement : pas	0,75	0,66	0,76	0,66	0,8	0,56	0,51	0,565	0,61
	Pièces polaires	Lamellées.	Lamellées.	Chanfrein.	Solides.	Lamellées.	Lamellées.	Lamellées.	Solides.	Solides.
	Noyaux polaires	Amortisseur. Lamellés.	Lamellés.	Rectang.	Ronds.	Lamellés.	Ovales.	Lamellés.	Ronds.	Ronds.
	Largeur et épaisseur. cm	56 × 13,5	58 × 11,5	46 × 9	18	26 × 12,5	—	28,5 × 11 ?	14	16,5
	Section du noyau. cm²	717	—	414	254	308	450 ?	298 ??	153,5	214
	Les noyaux sont	Encastrés.	—	Elargis.	—	—	Encastrés.	Encastrés.	Encastrés.	Encastrés.
	Place occupée p. l'enroul. cm	13 × 5	21 × 2,3	10 × 3,4	14,5 × 3,2	16,5 × 2,6	25 × 2,5	21,5 × 3,6	20 × 4	25,5 × 1,9
	Nombre de spires par pôle	90/2	40	44	34	155/2	60	54	137	70
	Fil inducteur	—	4 × 23	Rond 8	—	Rond 2 × 4,7	4 × 25	Rond 11	6 × 6	3 × 19
	Section du fil. mm²	62,5	92	50,3	115	2 × 17,4	100	95	36	57
	Longueur moy. d'une spire. m.	1,65	1,7	1,275	0,71	0,96	0,92	1,03	0,59	0,60
	Résistance à chaud	0,77	1	1,6	0,25	3,06	0,728	0,7	2,73	0,825
Induit.	Voltage aux bornes	6 000	2 200	5 000	5 000	2 200	3 000	5 500	3 300	2 400
	Ampères en pleine charge	290	530	140	115	210	158	145	123	207
	Montage en	Etoile.	Etoile.	Etoile.	Etoile.	Etoile.	Etoile.	Etoile.	Etoile.	Etoile.
	Nombre de fils par encoche	1	1	5	6	2,5	6	11	12	7
	» par phase	360	216	760	768	380	384	704	720	448
	Fil induit	—	7 × 44	Câble.	—	4 à 3,9 ronds	—	4 à 3,8	3 à 4,2	—
	Section du fil. mm²	90	310	40	42 1/2 ?	47,7	—	45,4	41,6	65,4
	Courant par fil	290	530	140	115	210	158	145	123	207
	Densité du courant	3,25	1,7	3,5	2,7	4,4	—	3,2	2,95	3,17
	Longueur moyenne d'un fil. m.	1,3	1,3	0,84	0,95	0,76	—	0,775	0,73	0,81
	Résistance par phase à chaud.	0,098	0,014 froid.	0,3	0,34	0,121	—	0,25	0,25	1,11
	Perte de voltage aux bornes	49	12,8	72,5	67,5	43,8	—	63	54	39,3
	Flux utile = $Nr\ 10^6$	8,8	5,33	5,2	3,44	3,05	4,33	4,12	2,43	2,82
	Flux : Surface de l'induit par pôle. cm²	5 290	3 420	5 500	4 025	4 550	3 980	5 600	4 400	4 600
	Largeur minima des dents mm	10,4	15,8	18,2	20 ?	26,1	71	60 ?	47,7	38,5
	Section des dents par pôle. cm²	610	560	278	237 ?	338	480	276 ?	194	177
	Induction maxima des dents 10^3.	14,5	9,5	16,8	14,5	9	9	14,95	12,5	16
	Perte dans les dents ; watts.	40 000	29 300	34 400	11 650	7 250	18 350	29 900	15 750	25 600
	Section du noyau d'induit. cm²	2 030	950	325	1 230	950	975	1 055	540	610
	Induction dans le noyau 10^3.	4,33	5,6	16	2,8	3,22	4,4	3,9	4,5	4,6
	Perte dans le noyau ; watts.	64 500	38 200	70 500	15 900	15 300	22 800	18 600	11 000	15 200
	Dispersion entre pièces polaires.	0,855	1,3	0,88	0,55	1,76	0,875	0,41	0,297	0,563
	» entre noyaux pol. 10^6.	2,03	1,84	0,54	0,306	0,535	1,04	0,93	0,295	0,528
	Flux dans l'inducteur minimum	9,65	6,46	6,08	3,99	4,78	5,2	4,53	2,73	3,38
	» » maximum 10^6	11,7	8,48	6,62	4,3	5,315	6,24	5,46	3,02	3,91
	Coefficient de dispersion	1,33	1,59	1,275	1,25	1,74	1,44	1,325	1,24	1,39
	Induction dans les pôles minima 10^3	13,35	10,4	14,7	15,7	15,5	11,6	15,2	16,95	15,8
	» » maxima 10^3	16,3	13,4	16	16,9	17,25	13,85	18,3	18,9	18,3
	Section de l'entrefer par pôle cm²	1 030	871	780	560	570	610	350	335	405
	Induction dans l'entrefer 10^3.	8,570	6,12	6,68	6,15	5,4	7,05	11,8	7,25	7
	Entrefer équivalent	10	12	6,5	8	7	5	4,5	5,5	7
Par circuit magnétique. Amp.-tours.	Pour l'entrefer	13 700	11 750	6 950	7 880	6 050	5 650	8 500	12 800	7 850
	Pour les noyaux polaires.	1 280	705	960	1 520	2 300	1 200	3 330	5 500	4 740
	Pour le joint	420	500	320	680	625	400	250	350	580
	Pour la culasse volante.	65	95	50	50	75	50	50	80	50
	Pour les dents	210	90	550	135	40	65	300	165	530
	Pour le noyau induit	160	160	1 100	85	110	160	120	105	150

ALTERNATEUR

12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
800	1 000	1 400	1 200	1 200	350	220	270	215	5 000	1 330	1 000
80	83,3	72	125	126	142	110,4	250	120	75	75	75
42 1/2	50	50	50	42	42 1/2	46	50	32	25	25	25
64	72	84	48	40	36	50	24	32	40	40	40
600	551,7	640	415	410	310	360	160	267,8	980	540	355,6
23?	13,5	22	28	34	25	15	48	25	**52**	40	39,6
5?	1	3	3	5	5	—	2	—	6	3	6
25	15	25	31	39	30	15	50	25	**58**	43	45,6
16,4	13,8	13,5	15	17,7	12,5	12,6	11,2	12,3	21,5	13,2	9,7
384	432	504	360	360	72	300	144	96	480	240	120
6	6	6	7,5	9	2	6	6	3	12	6	3
49,2	39,8	41,7	36,3	35,8	—	37,8	35	88	34	70,3	47,5
36	47	55	**50**	**50**	43	24	23	Diamètre :	**60**	**68**	**81**
22	24,5	21	**21**	**18**	34	19	17	47	**30**	**25**	**46**
—	10	9	**7**	**8**	—	**9**	5	8	?	**25**	**46**
8	8,5	6	6	6	6	10	4	5	18?	11	7
29,5	24	25	27,2	32,2	27,2	22,7	20,8	26,4	77	42,4	28
15	16	16	17,4	22	13,5	15	10	14,5	57,5	27,5	19
0,5	0,67	0,64	0,64	0,68	0,5	0,66	0,48	0,57	0,75	0,65	0,68
Solides.	Solides.	Chanfr.	Chanfr.	Chanfr.	Solides.	Solides.	Solides.	Solides. [1]	Lam. plaq. bronze.	Lam.	Lam. chanfrein.
Ovales.	Ronds.	Ronds.	Ronds.	Ronds.	Ovales.	Ronds.	Ovales.	Ronds.	Lam.	Lam.	Lam.
—	13 1/2	16	19	23,5 — 25	—	**11**	—	14,5	**55 × 55**	**40 × 19,5**	**41 × 12**
200	143	200	283	452	190?	**95**	295	165	**2 450**	**738**	**468**
—	Encastrés.	—	Encastrés.	Encastrés.	—	—	—	Encastrés.	—	Elargis.	—
10,5 × 5,5	17 × 3	14,5 × 2,5	16,5 × 2	20 × 2	18 × 2	20 × 3,7	13 × 1,7	22 × 3,8	18 × 3,75	22,5 × 3,4	18 × 3,8
50	105/2	45	50	55	176	42	110	50	**60 ?**	46	67,5
0,8 × 104	—	3 × 25	3,5 × 20	3 × 25	Rond 5,2	3,5 × 37	1,1 × 17	3,8 × 20	**3 × 37,5 ?**	1,2 × 110	2,3 × 38
83,2	42	75	70	75	21,2	129	18,7	76	**112,5 ?**	130	87,5
0,9	**0,55**	**0,62**	**0,685**	**0,88**	**0,77**	**0,51**	**0,835**	**0,6**	**2.6**	**1,28**	**1,4**
0,7	0,5	0,55	0,45	0,42	4.5	0,165	2,65 (froid).	0,22	**0,887 ?**	0,39	0.8
2 200	2 200	3 000	2 200	2 200	2 000	220	800	220	11 000	5 500	5 500
210	262	270	315	315	175	525	195	565	263	140	105
Triangle.	Etoile.	Triangle.	Triangle.	Triangle.	Monoph.	Etoile.	Etoile.	Etoile.	Etoile.	Etoile.	Etoile.
6	5	6	4	4	11	1	2	9/4	3	9	25
768	720	984	480	480	792	100	96	72	480	720	1 000
Câbles.	—	Câbles.	Câbles.	Câbles.	Câbles.	—	15 × 4,5	4 à 8,2	—	25 × 3	—
25	64	38	38	38	33,6	300	53	211,2	**200 ??**	75	55
121	262	156	182	182	175	525	195	565	263	140	105
4.6	4,1	4,1	4.8	4,8	5,2	1,75	3,68	2,67	**1,3 ??**	1,87	1,92
0,82	**0,53**	**0,75**	**0,815**	**1,0**	**0,71**	**0,745**	**0,87**	**0,72**	—	**0,35**	**1,1**
0,52	0,125	0,34	0,185	0,21	0,336	0,005	0,0324	0,00492	—	0,262	0,41
63	56,5	58	33,5	38,2	59	4,53	10.9	4.8	—	63,5	70
3,13	1,63	2,8	4.18	5,03	2,75	1,26	4,41	2,52	24	8,06	5,78
4 630	5 030	5 100	5 500	4 600	4 050	3 700	4 410	3 820	6 000	4 770	5 220
27,2	15,3	20,7	**15**	**17,8**	—	18,8	18	41	**34**	45,3	47,5
188	82,5	175	**202**	**372**	—	112	249	168	**1 630**	706	383
16,6	19,9	16,0	20,7	13,5	8,5	11,3	17,7	15,0	14,7	11,4	15,0
16 550	12 850	27 000	24 600	14 700	4 550	2 100	71 700	5 100	47 300	17 400	17 500
680	335	530	760	1 080	563	340	922	555	2 030	950	690
4,62	4,9	5,3	5,5	4,65	4.88	3,7	4,77	4,55	11.8	8.45	8,4
16 300	9 900	21 250	21 200	24 100	8 120	3 920	7 850	4 650	228000 ?	32 500	15 900
0,277	0,442	0,394	0,48	0,65	0,31	0,243	0.36	0,22	1,58	0,935	1,06
0,331	0,366	0,325	0,603	0,507	0,344	0,293	0,574	0,28	2,6	1,24	1,54
3,41	2.07	3,19	4,66	5,68	3,06	1,55	4,77	2,74	25,6	9,0	6,84
3,74	2,44	3,52	5,26	6,19	3,4	1,8	5,34	3,02	28,2	10,24	8,38
1,195	1,5	1,26	1,26	1,23	1,25	1,43	1,21	1,2	1,18	1,27	1,45
17,05	14,45	15,95	16,5	11,8	16,1	16,3	16,2	16,6	10,45	12,2	14,6
18,7	17,05	17,6	18;6	14,3	17,9	18,9	18,1	18,3	11,5	13,9	17,9
390	208	345	480	732	365	218	490	380	3 200	1 000	600
8,0	7,85	8,15	8,7	6,87	7,53	5,8	9,0	6,62	7,5	8,06	9,6
8	8,5	7,5	7,5	7,5	6	10	4	5	**19 ?**	11	9
10 250	10 700	9 800	10 430	8 250	7 230	9 280	5 760	5 290	23 000	14 200	13 800
3 640	1 900	2 410	3 200	680	2 500	4 700	2 480	4 680	500	1 025	2 460
760	480	505	500	400	715	755	—	500	—	400	715
50	50	60	50	100	60	65	100	100	385	75	75
325	900	440	1 000	190	55	55	350	150	400	150	535
175	120	135	160	190	120	95	100	100	1 300	250	185

	NUM								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Par circuit magnétique. Ampères-tours. Sans réaction	15 835	13 300	9 930	10 350	9 200	7 250	12 550	12 600	13 900
De l'induit	3 080	3 390	1 970	2 920	2 240	2 020	3 370	3 120	3 060
En court circuit calculés	4 105	4 520	2 628	3 895	2 975	2 695	4 495	4 160	4 080
Pleine charge non inductive cos $\varphi = 1$	16 450	14 000	10 100	10 900	9 150	7 750	12 600	12 250	13 300
Pleine charge inductive avec	18 000	16 700	12 400	13 450	11 550	9 000	15 700	15 500	17 100
Facteur de puissance minimum	0,9	0,7	0,5	0,7	0,7	0,85	0,8	0,8	0,7
Excitation en ampères. A vide calculée	167	165	105,5	143	53,2	57,5	102	36	80,5
» indiquée	—	120	100,5	131	54	98	86	43	70
En court circuit, calculée	—	56,5	30	57	19,3	22,5	41,5	15,2	29,2
» indiquée	—	42	40	49	15	22,5	33	15	38
Pleine charge sur cos $\varphi = 1$; calculée	184	175	115	160	59	62	117	—	95
Pleine charge sur cos $\varphi = 1$; indiquée	—	135	113	155	—	104	—	—	—
Pleine charge sur cos φ, minimum, calculée	200	290	141	198	74,5	75	145	56,5	122
Pleine charge sur cos φ, minimum, indiquée	—	—	153	—	—	117	120	57	120
Densité de courant inducteur maxima	1,6	2,28	2,8	1,72	2,14	0,75	1,53	1,58	2,1
Pertes d'énergie. Dans le fer. watts	104500	67 500	104900	27 550	22 550	41 150	48 500	26 750	40 800
» en p. 100	3,32	3,2	7,8 ?	2,63	2,65	4,67	3,33	3,6	4,43
Dans le cuivre induit. watts	24 800	14 000	17 600	13 700	16 000	—	15 800	11 400	14 100
» » en p. 100	0,79	0,665	1,31	1,31	1,88	—	1,09	1,53	1,53
Dans l'excitation cos $\varphi = 1$ watts	26 000	30 600	21 100	6 400	10 700	3 015	17 250	5 450	7 450
Dans l'excitation cos $\varphi = 1$ en p. 100	0,825	1,45	1,57	0,61	1,26	0,342	1,18	0,73	0,81
Rendement en pleine charge non inductive	95,2	96,7	89,4 ?	95	94,5	93,6 ?	94,4	94,1	93,3
Surface refroidissante induit dm²	7 700	2870	2 100	2 110	1 935	2 090	1 775	1 210	2 220
Watts par dm² induit	16,8	28,4	58,3	19,5	19,9	25,4	36,2	31,6	24,7
Perte excitation maxima	31 000	44 000	31 800	13 800	17 000	10 000	18 150	8 700	12 250
Surface refroidissante électros	1 720	2 700	1 070	740	1 340	1 600	1 610	867	1 080
Watts par dm² électros	18	16,3	29,8	18,6	12,7	6,25	11,3	10	11,4
Vitesse circonférentielle (mètres par seconde)	32	26	23,6	28,5	24,8	26,2	24,6	23	24,5
Poids Tôles, induit. kg	**22 400**	**23 000**	**4 580**	**10 200**	**8 250**	**9 060**	**8 300**	**4 360**	**5 680**
Poids Pôles et pièces polaires »	**8 000**	**9 300**	**3 530**	**2 880**	**4 500**	**8 100**	**3 750**	**1 920**	**3 700**
Poids total du fer »	30 400	32 300	8 110	13 080	12 750	17 160	12 050	6 280	9 380
Poids Cuivre induit »	**1 140**	2 400	715	**835**	370	—	670	550	590
Poids » inducteurs »	**5 950 ?**	4 000	1 817	**1 600**	1 770	3 240	2 800	1 500	1 470
Poids total du cuivre »	7 100	6 400	2 532	2 435	2 140	**4 000 ?**	3 470	2 050	2 060
Constantes. De grandeur : K	790	900	860	950	960	1 360	513	665	685
De réaction	0,195	0,258	0,2	0,282	0,243	0,278	0,27	0,25	0,22
De dispersion induit : $S \times 10^{-3}$	1,76	4,55	2,02	2,8	2,5	2,15	3,15	4,21	3,5
Kilovolts ampères par pôle	41,7	27,7	15,8	15,6	10,5	12,9	21,5	11,67	13,4
» ampères-tours par min.	36,2	24	15,2	10,65	10,1	9,15	14,6	7	9,15
Poids Fer par kilovolts ampèr.-tours	840	1 165	534	9 230	1 260	1 875	825	900	1 025
Cuivre par kilovolts amp.-tours	196	231	166	229	212	437 ?	238	293	225
Fer + 5. cuivre par kilov.-t.	1 820	2 320	1 367	2 375	2 320	4 060	2 015	2 365	2 150

(1) OBSERVATIONS CONCERNANT LE TABLEAU. — I. *Parties lamellées.* — Pour calculer la section des parties lamellées, j'ai supposé que l'isolement entre les tôles prend 5 p. 100 dans le cas des inducteurs lamellés, et 10 p. 100 dans les induits. Je compte donc 95 p. 100 de la section totale dans un cas, et 90 p. 100 dans l'autre.

II. *Section du noyau de l'induit.* — Cette section, comme elle est indiquée dans le tableau, se comprend comme section totale correspondant au flux total (2 fois le produit : largeur × hauteur radiale).

III. *Dimensions des encoches.* — La profondeur de l'encoche est comptée depuis l'alésage de l'induit. Dans le cas d'encoches entièrement fermées, l'isthme est donc compris.

IV. *Longueur moyenne d'un fil.* — Les longueurs moyennes indiquées sont partout relevées sur le dessin. Elles ne sont pas vérifiées par la comparaison de la résistance qui en résulte avec la résistance indiquée.

V. *Résistances de l'induit et des inducteurs.* — Les résistances sont partout indiquées à chaud. Elles sont, dans

L'ALTERNATEUR

12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
15 200	14 150	13 350	15 350	9 810	10 680	14 950	8 810	10 770	25 800	16 100	17 770
3 080	5 550	3 860	3 850	4 630	3 475	2 220	1 660	2 690	6 650	5 350	5 550
4 105	7 400	5 135	5 120	6 175	4 635	2 960	2 215	3 585	8 865	7 135	7 400
15 600	15 350	14 000	16 100	11 600	11 650	14 500	8 700	10 200	2 700	17 500	18 500
17 450	19 100	17 000	19 500	15 000	—	16 500	10 450	13 500	30 800	20 300	22 000
0,85	0,85	0,8	0,7	0,7	1,0	0,9 ?	0,75	0,7	0,9	0,9	0,9
130	123	138	138	85,5	28	148	35	85,5	210 ?	168	120
137	110	140	120	86	40	—	27	—	—	140	110
41	70,5	57	51,5	56	13,2	35,2	10	36	74	77,5	54,7
45	75	57	48	48	12	—	10	—	—	58	57
156	146	155	161	—	33,2	173	39,5	102	225	190	137
156	136	160	—	—	45	—	—	—	—	155	126
174	182	189	195	137	—	196,5	47,5	135	257	220	163
193	160	230	200	180	—	—	42	92	—	200	—
2,09	2,16	2,52	2,8	1,83	1,57	1,53	2,54	1,78	2,3	1,7	1,85
32 850	22 750	48 250	45 800	38 800	12 670	6 020	15 020	9 750	275300	49 900	33 400
3,77	2,15	3,24	3,59	3,07	3,35	2,56	6,55	4,2	5,13 ?	3,54	3,14
20 500	25 700	28 000	18 500	21 000	10 300	4 130	3 800	4 800	—	15 200	13 700
2,36	2,43	1,88	1,45	1,66	2,72	1,76	1,66	2,07	—	1,08	1,29
17 000	10 650	13 200	11 650	4 620	4 950	4 940	4 130	2 280	45 000	14 100	15 000
1,95	1,0	0,785	0,91	0,365	1,31	2,1	1,8	0,98	0,84	1,0	1,41
92	94,5	94	94,1	95	92,7	93,6	92,2	92,8	93,2	94,4	94,2
3 310	1 530	3 000	2 200	3 220	1 820	706	835	742	10 600	3 220	2 740
16,2	31,6	25,4	29,3	18,6	12,6	14,4	22,6	19,6	31	20,2	17,2
26 000	16 600	29 200	18 000	13 600	9 100	6 375	6 000	4 000	58 700	18 850	21 300
740	787	840	600	588	440	600	280	508	2 200	1 275	1 120
35	21	34,8	30	23,2	20,7	10,6	21,4	7,9	29,1	14,8	19
25	24	25	27,2	27	23,1	20,8	20,8	16,8	38,5	21,2	14
6 250	**3 120**	**6 000**	**5 400**	**9 400**	**3 040**	**1 850**	**2 360**	**2 680**	**31 800**	**9 850**	**5 830**
1 600	**1 600**	**2 600**	**2 300**	**2 780**	**1 170**	**950**	**980**	**1 150**	**20000**	**6 850**	**3 500**
7 850	4 720	8 600	7 700	12 180	4 210	2 800	3 340	3 830	51 800	16 700	9 330
500	660	**775**	360	400	162	450	109	315	**4 500 ? ?**	1 900	**1 625**
2 100	1 610	1 500	1 030	1 250	920	1 200	395	595	**6 400 ?**	3 100	2 950
2 100	2 270	2 275	1 390	1 650	1 080	1 650	504	909	10 900	5 000	4 575
830	343	465	505	600	975	980	1 140	1 000	750	658	375
0,207	0,392	0,289	0,25	0,47	0,325	0,149	0,188	0,25	0,258	0,33	0,313
2,46	6	4,0	3,0	3,05	5,75	3,7	2,7	3,24	0,6	1,96	4,3
12,5	13,9	16,67	25	30	9,7	4,4	11,2	6,7	125	33,3	25
10	12,0	19,45	9,6	9,55	2,46	1,99	1,08	1,78	66,6	17,75	13,3
785	393	442	800	1 275	1 710	1 410	3 090	2 150	777	940	700
210	189	117	145	173	440	830	466	510	163?	282	344
1 835	1 338	1 027	1 525	2 127	3 710	5 560	5 420	4 700	1 592	2 350	2 420

plusieurs cas, vérifiées et corrigées d'après les longueurs moyennes, les chiffres indiqués dans la description des machines n'étant pas toujours justes.

VI. *Chute de voltage due à la résistance de l'induit.* — Pour les génératrices triphasées, la chute de voltage indiquée est celle entre deux bornes, soit 1,73 R.J. dans le cas du montage en étoile et R.J. pour le montage en triangle.

VII. *Entrefer équivalent.* — Dans le cas où les pièces polaires sont chanfreinées, j'ai introduit l'entrefer équivalent qui représente la valeur moyenne de l'entrefer, variable aux différents endroits de la pièce polaire.

VIII. *Induction dans les dents.* — Pour prévenir des objections, je dois dire que l'induction maxima dans les dents n'est pas calculée très exactement et les valeurs indiquées dans le tableau ne sont qu'approximatives.

IX. La même observation s'applique aussi aux *ampères-tours pour la couronne reliant la base des noyaux d'électros.* Cette couronne fait, dans la plupart des machines, fonction de volant.

Les machines du tableau présentent beaucoup de diversité sous plusieurs rapports. La puissance varie de 215 à 5 000 kilovolts-ampères ; elle est cependant pour la plupart au voisinage de 1 000 kilovolts-ampères. Au point de vue de la construction mécanique tous les systèmes possibles sont représentés, mais les dynamos-volants à inducteurs tournant à l'intérieur de l'induit dominent. La vitesse angulaire et la fréquence varient moins ; la première reste comprise entre 72 et 250 t : m, la seconde est pour la grande majorité de 50 périodes par seconde, ou environ ; trois alternateurs seulement ayant 25 périodes et un 32.

Dynamos volants. — L'emploi des inducteurs comme volant du moteur à vapeur impose les grands diamètres des alternateurs, observés à l'Exposition. Pour assurer à l'induit fixe la grande rigidité que nécessite la valeur de l'entrefer relativement petite en comparaison avec les dimensions de la machine, on a utilisé plusieurs moyens, dont un seul, pour les grandes machines, est vraiment pratique : c'est de maintenir l'induit entre deux plaques latérales munies de bras. Cette construction permet de réduire le poids de fonte au minimum. La maison Brown-Boveri et Cie paraît être la première qui l'ait employée. Les constructeurs qui n'ont pas adopté ce système donnent au bâti de l'induit une section très forte et une hauteur radiale considérable ; outre un grand poids, cette construction implique encore une augmentation du diamètre.

Vitesse circonférentielle. — Pour satisfaire aux conditions que nécessite la construction des dynamos-volants [1] beaucoup d'alternateurs ont une vitesse circonférentielle trop grande. Pour une machine (n° 21 du tableau), cette vitesse atteint même 38,5 m : seconde ; il est vrai que c'est la

---

X. *Ampères-tours pour le joint entre pôles et volant.* — Le joint se trouve juste dans l'endroit du circuit magnétique ayant la plus grande induction, et on ne devrait pas le négliger. C'est pourquoi j'ai partout supposé un entrefer de 1/4 de mm pour le joint, et calculé les ampères-tours nécessaires pour cet entrefer. L'induction dans le joint est différente selon que les pôles sont plus ou moins encastrés ou pas encastrés du tout.

XI. *Ampères-tours sans réaction.* — Les ampères-tours sans réaction, indiqués dans le tableau, s'entendent pour pleine charge sur facteur de puissance minima. C'est-à-dire que les ampères-tours sans réaction sont calculés avec une dispersion qui correspond à l'excitation nécessaire pour la dite charge.

XII. *Constante de réaction.* — Cette constante est exprimée par le quotient $\frac{\text{ampères-tours-induit}}{\text{ampères-tours sans réaction}}$. Suivant ce qui a été dit, comme ampères-tours sans réaction, ont été introduit les ampères-tours sans réaction ($\cos\varphi$ min).

XIII. *L'excitation sur charge non inductive* n'a pas été calculée très exactement. Elle est estimée seulement et n'est qu'approximative ; car pour la calculer exactement il aurait fallu déterminer encore la dispersion correspondante. Je me suis contenté de calculer exactement l'excitation en charge inductive et celle à vide en tenant compte de la dispersion différente dans les deux cas.

XIV. *Rendement.* Dans le cas de génératrices accouplées directement aux machines à vapeur, il est difficile de déterminer quelle partie du frottement doit être à la charge de la dynamo, surtout lorsque celle-ci fait fonction de volant. Aussi pour éviter cette difficulté, ai-je indiqué le rendement sans tenir compte du frottement et seulement pour la charge non inductive. Le facteur de puissance minimum étant, en effet, différent pour chaque alternateur, il serait impossible de comparer les rendements sous charge inductive.

XV. *Surface refroidissante.* — Lorsque l'induit ne contient pas de disques de ventilation entre les tôles, la surface de refroidissement est supposée généralement comme étant représentée par la surface de l'anneau de tôles formant la partie active de l'induit. Au cas où l'induit est ventilé, on peut tenir compte des disques en introduisant la moitié de leur surface. C'est ainsi que j'ai calculé la surface refroidissante de l'induit.

Comme surface de refroidissement des inducteurs, je n'ai compté que la surface cylindrique, sans tenir compte des deux bouts.

XVI. *Poids des inducteurs.* — Le poids des pôles en acier ou en tôle indiqué dans le tableau, comprend les pièces polaires, mais ne contient pas la partie du pôle encastrée dans le volant.

XVII. *Poids du fer et du cuivre.* — Le poids du fer est partout calculé en supposant une densité de 7,7. Celui du cuivre avec une densité de 9,0.

XVIII. — Les constantes des machines empruntées au dessin seulement sont soulignées. Les chiffres plus ou moins incertains sont marqués par un ? ou ??.

(1) L'emploi de l'inducteur des génératrices comme volant pour les machines à vapeur est assez répandu. Il y a cependant beaucoup de considérations qui prouvent que cette disposition n'est point recommandable malgré sa popularité, basée surtout sur des raisons purement esthétiques. Or, si les considérations esthétiques ont leur raison

plus puissante de toutes ; son débit étant de 5 000 kilovolts-ampères. Mais comme sa fréquence est de 25 périodes seulement, cette vitesse paraît fort exagérée. Le minimum de vitesse, 14 m : seconde, est atteint par une autre génératrice de même fréquence (n° 23 du tableau), la seule qui ait un volant spécial indépendant. Cette machine avec son débit de 1 000 kilovolts-ampères est caractérisée par ses petites dimensions. Un alternateur marchant à 50 périodes ne saurait guère avoir une vitesse si modérée. Aussi pour cette fréquence la vitesse minima est de 20,8 m : seconde ; (voir les nos 18 et 19 du tableau). Ces vitesses modérées sont atteintes par les machines de faible puissance (220 et 270 kilovolts-ampères). Pour les génératrices d'environ 1 000 kilovolts-ampères, ce chiffre est de 24 m : seconde au minimum. En général la vitesse circonférentielle doit être aussi petite que possible, pour éviter les effets de la force centrifuge sur les bobines inductrices et sur les pôles eux-mêmes. C'est donc encore une raison en faveur d'une réduction du diamètre.

Encoches. — Il y a trois formes principales. Elles peuvent être entièrement ouvertes, à demi ouvertes avec une fente plus ou moins large, et enfin entièrement fermées. Ces dernières ont l'avantage d'éviter ou de réduire au minimum les fluctuations du champ magnétique. Elles diminuent la résistance magnétique de l'entrefer et permettent d'employer des tubes isolants fermés, favorables à l'isolement de l'enroulement. Par contre, les isthmes en fer fermant les encoches augmentent la dispersion de l'induit, surtout lorsqu'ils ne sont pas assez minces. Le bobinage de l'induit est rendu plus difficile ; il doit être « cousu » et la place disponible dans l'encoche ne peut être entièrement utilisée pour permettre le bobinage.

Il est toujours préférable, quelle que soit la forme des tubes isolants, de couper les isthmes par une fente ; on peut ainsi considérablement réduire la dispersion de l'induit.

---

d'être dans la construction des machines lorsqu'elles sont d'accord avec les considérations d'ordre mécanique, elles doivent nécessairement céder le pas à celles-ci quand il y a contradiction entre les deux.

Les inconvénients des dynamos-volants consistent surtout en ce que ces machines réunissent deux éléments hétérogènes. Le diamètre du volant, d'une part, doit être aussi grand que possible pour en réduire le poids, et d'autre part, il est en général limité par la vitesse circonférentielle admise. Cette vitesse est d'environ 30 m : s lorsque le volant n'est pas utilisé pour la transmission, par courroie, par câbles, etc. Quant au diamètre de l'alternateur, il est déterminé par des considérations tout à fait autres, comme le nombre de pôles, la dispersion, le rendement et l'échauffement. Ce ne peut donc être que dans des cas spéciaux que des conditions de nature si différente donnent le même résultat. Un de ces cas se présente généralement dans les alternateurs accouplés directement avec la machine à vapeur pour les très grandes puissances, à partir de 2 000 kilovolts-ampères peut-être, et pour les alternateurs à vitesse plus élevée. Ce n'est que dans le cas où le diamètre calculé du volant et celui de la dynamo (partie tournante) se rapprochent, qu'on devrait employer la partie tournante de l'alternateur comme volant. Dans la grande majorité des cas on arrive à des proportions qui sont favorables pour le volant seul, ou pour l'alternateur seul ou bien qui ne sont favorables ni pour l'un ni pour l'autre.

Si le volant est accommodé au diamètre normal de la génératrice, la masse de fonte devient d'ordinaire énorme. La machine devient plus coûteuse et en même temps le rendement diminue à cause du frottement dans les paliers, augmenté d'une part par le grand poids, de l'autre par le diamètre de l'arbre qui doit être plus fort à cause de ce poids.

Lorsque, au contraire, on veut donner la préférence au volant et qu'on construit la génératrice avec un diamètre trop grand, on aura moins de fonte additionnelle dans les inducteurs, mais la qualité de l'alternateur en souffrira certainement. Il y aura trop de fer dans l'induit et trop de cuivre, car toutes les longueurs moyennes augmentent, et les pertes dans le fer aussi bien que celles dans le cuivre seront plus grandes. En outre, le poids de fonte qu'on gagnera sur le volant ou au moins une grande partie de ce poids, devra être mis dans le bâti de l'induit pour lui assurer la rigidité indispensable exigée par l'augmentation du diamètre.

On voit donc que, sauf les cas relativement rares où l'alternateur par lui-même, et tout naturellement, doit avoir une vitesse circonférentielle suffisante, égale ou du moins rapprochée de celle d'un volant normal, il n'est jamais pratique d'employer des alternateurs-volants. Ces machines n'ont, en général, point d'avantages sérieux pour le client, à cause du rendement inférieur et de leur prix plus élevé.

Elles présentent par contre pour le constructeur des inconvénients graves en ce que la main d'œuvre augmente très vite avec le diamètre et qu'il ne lui est pas possible de donner à l'alternateur les dimensions normales qui permettent de réduire au minimum les frais de matière première et de main-d'œuvre. On peut dire qu'une machine-volant exigeant un diamètre trop grand aura toujours un prix de revient plus considérable qu'une machine de construction normale, et de plus un rendement inférieur.

Ainsi l'avantage de nature principalement esthétique présenté par les dynamos-volants se trouve payé trop cher.

***

En choisissant une fente étroite on ne change rien dans ces conditions, sauf une diminution de la dispersion. On a cité comme avantage des encoches fermées que la dispersion de l'induit entre marche à vide et à pleine charge varie moins, les isthmes étant plus ou moins saturés déjà à vide. Mais ce ne sont pas les isthmes saturés à vide qui interviennent pour la dispersion en pleine charge, à moins qu'elle ne soit purement inductive ($\cos \varphi = 0$). En charge non inductive les isthmes saturés par la dispersion de l'induit se trouvent juste vis-à-vis des pôles et à 90° de ceux saturés à vide (360° représentant la partie de la circonférence comprise par deux pôles). Avec une charge partiellement inductive ce raisonnement est juste en partie ; cependant il est certain qu'il y a intérêt à réduire la dispersion au minimum et que par conséquent les encoches fendues seront toujours préférables, puisque en tout cas la dispersion à pleine charge sera inférieure.

En adoptant une fente convenable et assez large pour pouvoir y passer le fil induit, on peut simplifier le bobinage. On n'est plus obligé de coudre si le tube isolant est fendu, lui aussi. De cette façon on utilise mieux la place disponible dans l'encoche car on peut alors forcer les fils dans l'encoche et les fixer après à l'aide d'une cale, qui en même temps ferme la fente de l'encoche [1].

Le principal avantage des encoches ouvertes est d'assurer un bobinage très facile. Par contre la résistance magnétique de l'entrefer est plus grande, pour un nombre d'ampère-tours donné, l'entrefer doit être plus petit qu'avec des encoches à moitié fermées.

Sur les 23 machines du tableau 11 ont des encoches à demi-ouvertes, 6 des encoches fermées et autant les ont entièrement ouvertes.

Nombre d'encoches par pole. — Pour les alternateurs triphasés il varie entre 3 comme minimum et 15 comme maximum. Ce maximum est atteint par le n° 1 du tableau. Une machine a 12 encoches (n° 21), une 7,5 (n° 15), 10 ont 6 encoches et 7 en ont trois seulement ; enfin une machine monophasée (n° 17) a 2 encoches par pôle. On voit que le nombre de 6 encoches par pôle prédomine ; c'est d'ailleurs le chiffre le plus favorable.

Avec 3 encoches la courbe de la force électromotrice s'éloigne trop de la sinusoïde, l'harmonique de 3e ordre se laisse trop sentir ; de plus un nombre si limité d'encoches donne lieu à des fluctuations du champ et les pièces polaires devraient être lamellées pour éviter un échauffement appréciable. Avec 6 encoches l'harmonique de 3e ordre disparaît et les fluctuations diminuent de façon à permettre l'emploi de pièces polaires solides. En outre les encoches restent encore assez grandes et on ne perd pas trop de place pour l'isolement, comme c'est le cas avec un nombre d'encoches trop grand [2].

---

[1] Ce procédé de bobinage des induits est peut-être le plus répandu en Europe, où en général on emploie encore le bobinage à la main. On commence cependant à reconnaître les avantages du bobinage avec des cadres préparés d'avance, préconisé par les Américains, et il faut le considérer comme le bobinage de l'avenir. Il présente, en effet, beaucoup d'avantages sur le bobinage à la main.

Les cadres sont préparés d'avance sur un gabarit et sont absolument égaux, de façon qu'on puisse remplacer en peu de temps un cadre abîmé ; on peut toujours avoir des cadres en réserve pour être prémuni contre tout accident. De plus, l'enroulement est ainsi plus sûr, chaque cadre étant essayé avant la mise en place, et son isolement pouvant être vérifié immédiatement après cette mise en place. La construction de l'enroulement est plus mécanique, l'enroulement lui-même plus régulier et plus résistant. Outre cette supériorité incontestable, le bobinage à cadres a encore celle d'être moins cher et de prendre moins de temps, car il n'exige pas le soin méticuleux que doit mettre le bobineur à la main.

Comme preuve que les avantages du bobinage avec cadres commencent déjà à être appréciés, on peut dire qu'un certain nombre d'entre les machines de l'Exposition étaient munies d'enroulements de ce genre. A l'exception d'une seule (n° 13, établie par l'auteur lui-même), toutes ces machines ont des encoches entièrement ouvertes. Il est pourtant assez facile d'employer l'enroulement sur gabarit avec des encoches à-demi-fermées, et on évite ainsi tous les inconvénients propres aux encoches ouvertes : fortes fluctuations dans les pôles qui ont pour conséquence des pertes d'énergie considérables, à moins qu'on ne lamine les pièces polaires ou qu'on ne choisisse des encoches très étroites.

L'alternateur n° 13 a une fente de 10 mm avec un entrefer de 8,5, et une largeur d'encoche de 24 mm. Les pièces polaires peuvent donc rester solides (non lamellées).

[2] On ne devrait pas dépasser 9 encoches par pôle, ce qui est déjà un chiffre très élevé. Pour une génératrice à haute tension (10 000 volts, par exemple), l'isolement joue un rôle assez important et prend d'autant plus de place

Enroulement de l'induit. — J'ai déjà parlé de deux façons de bobiner l'induit : à la main et avec cadres faits sur garabit. Il y a encore l'enroulement à barres qui, en somme, appartient au dernier mode de bobinage. Sauf pour les très grandes machines, il ne s'emploie que pour les basses tensions et d'ordinaire avec une barre seulement par encoche.

Cependant avec une denture donnée, il n'est possible d'employer qu'un nombre limité de voltages : on peut monter les phases en triangle ou en étoile, mettre un, deux, trois, etc. fils par encoche, mais ces combinaisons sont vite épuisées. Pour fabriquer des machines courantes avec enroulement à barres il faudrait donc souvent employer une denture différente, procédé peu favorable à une fabrication économique. Toutefois, cet enroulement, une fois adopté malgré l'inconvénient cité, est très pratique et facile à faire, tout en présentant une grande sécurité.

L'enroulement des alternateurs triphasés se fait généralement à bobines longues, c'est-à-dire que chaque bobine de l'induit embrasse un pas des pôles, soit 180°. D'entre les machines du tableau une génératrice seulement est enroulée à bobines courtes, embrassant la moitié du pas des pôles (90°), c'est le n° 3. Dans ce cas une partie seulement du flux venant d'un pôle (dans notre exemple deux tiers) traverse la bobine. Ce mode d'enroulement n'est d'ailleurs guère recommandable, d'abord parce qu'avec un flux total donné il exige beaucoup plus de fils induits (dans notre exemple 50 p. 100 en plus) et que la longueur moyenne d'un fil diminue relativement très peu. La résistance et le poids du cuivre de l'induit sont donc relativement trop grands et en outre avec l'augmentation de la charge une partie de plus en plus grande du flux passe à côté et non à travers les bobines. Ce dernier effet s'ajoute encore à la réaction d'induit. Ces inconvénients ne sont balancés par aucun avantage parlant en faveur des bobines courtes.

Fil induit. — Pour les basses tensions le fil est généralement remplacé, comme nous l'avons vu plus haut, par des barres solides en cuivre, réunies entre elles par des fourches de section équivalente.

On emploie aussi souvent, lorsque la section du conducteur doit être grande, une bande en cuivre enroulée en plusieurs couches sur un gabarit, isolée et constituant ainsi une bobine toute faite avant d'être placée sur l'induit.

Cet enroulement à bande n'est, en général, applicable qu'avec des encoches ouvertes. Il permet d'utiliser convenablement la place disponible dans l'encoche. Ceci n'est au contraire pas le cas avec l'emploi, pratiqué souvent, de câbles ronds tressés et guipés, pour les sections des conducteurs assez fortes [1].

Entrefer. — La grandeur de l'entrefer, dans les machines qui nous occupent, varie beaucoup. Pour les grandes machines il est en moyenne de 6 à 8 mm, une de ces machines (n° 7) n'ayant que 4,5 mm pour un diamètre intérieur de l'induit de 5 m.

Plus l'entrefer est grand moins on a à craindre les conséquences de l'usure des paliers et de l'inexactitude du travail, etc. Par mesure de sécurité, l'entrefer devrait augmenter avec le diamètre de la partie tournante des alternateurs. Il peut être plus petit dans les machines de faible puissance et de petit diamètre.

---

que le nombre d'encoches est plus grand. En l'augmentant, il faut, pour placer les fils nécessaires, adopter des encoches plus profondes au détriment du rendement de la machine. En effet, avec la profondeur des encoches, les pertes dans les dents augmentent, et en même temps la dispersion de l'induit et le poids des pôles deviennent aussi plus grands. Il faut donc éviter les extrêmes et adopter 6, ou au maximum, 9 encoches.

Quelques constructeurs ont cru bon d'avoir un nombre élevé d'encoches pour diminuer la dispersion de l'induit. Mais cette raison n'est pas bonne, car en gardant la même proportion entre les largeurs de la fente et de l'encoche et les pas des dents, la dispersion dépend uniquement de la profondeur des encoches et non de leur nombre.

[1] C'est un luxe difficile à justifier que d'employer des câbles là où un autre conducteur permettrait de réduire notablement les dimensions des encoches, luxe qui revient assez cher au constructeur et au client. En effet, une encoche trop grande entraine toujours une augmentation des dimensions générales et du poids de matière active, et par là elle diminue le rendement. Il faut donc, autant que possible, éviter l'emploi de câbles et les remplacer, soit par un fil solide ou plusieurs fils en parallèle, soit, encore mieux, par un fil rectangulaire.

Le fil rectangulaire utilise le mieux la place disponible dans l'encoche, mais son application est difficile avec le bobinage à la main. C'est donc un avantage de plus en faveur du bobinage sur gabarit.

Quelques machines ont des entrefers relativement très grands, ainsi la machine n° 18 ayant 10 mm d'entrefer avec une puissance de 220 kilovolts-ampères et un diamètre intérieur de 360 cm.

Pour tenir compte des considérations d'ordre mécanique et en vue d'éviter des fluctuations du champ dans les pièces polaires, il est bon d'avoir un entrefer aussi grand que possible. D'autre part un entrefer trop grand fait dépenser trop de cuivre sur les inducteurs. Donc en général on ne le choisira pas trop petit et pas trop grand non plus pour qu'il puisse satisfaire aux deux conditions citées. A autres conditions égales, je donnerai toujours la préférence à la machine dont l'entrefer est le plus grand.

Pièces polaires. — Voici un élément de la construction des alternateurs qui laisse beaucoup de marge au constructeur. Ces pièces peuvent être lamellées ou massives, chanfreinées ou plates, larges ou étroites, etc. Nous aurons donc à discuter toutes ces formes.

Les pièces polaires solides (non lamellées) peuvent être employées partout où il n'y a pas à craindre les pertes d'énergie, et partant l'échauffement des pièces polaires, occasionnées par une répartition trop inégale du flux sur leur surface. Les induits à larges encoches ouvertes ou munies de fentes très larges par rapport à l'entrefer, comme également ceux à trop petit nombre d'encoches (par exemple 3 seulement par pôle) exigent des pièces polaires lamellées.

Elles peuvent rester solides lorsque, avec au moins 6 encoches par pôle, la largeur de la fente ne dépasse pas de plus de 50 p. 100 l'épaisseur de l'entrefer. C'est du moins l'avis de l'auteur, basé sur l'expérience faite avec un grand nombre d'alternateurs de toute grandeur.

Les pièces polaires lamellées, permettent l'emploi de chaque forme d'encoche voulue, indifféremment, mais lorsqu'on veut les appliquer sur les électros solides on arrive à des procédés coûteux et peu pratiques. Aussi a-t-on abandonné aujourd'hui cette disposition assez répandue jadis, et dans notre tableau il n'y a plus qu'un seul représentant de ce genre (le n° 6 du tableau, dont les pièces polaires ont une grande hauteur radiale et occasionnent une forte dispersion). Par contre on voit beaucoup de génératrices dont les épanouissements polaires lamellés sont d'une seule pièce avec les noyaux d'électros lamellés aussi ([1]).

Le point le plus important est celui de l'angle d'embrassement de la pièce polaire. Il varie dans les alternateurs du tableau entre 0,48 et 0,8 du pas des pôles. Dans 5 machines, ce chiffre est de 0,75 ou au delà, pour 5 autres il varie entre 0,48 et 0,51, pour 9 il est assez exactement de 2/3. On voit donc que l'embrassement de 2/3 du pas prédomine. C'est ce chiffre qui donne une courbe la plus rapprochée de la sinusoïde. La plupart des constructeurs arrondissent un peu les pièces polaires, un certain nombre d'entre eux leur donnent un chanfrein, plus ou moins prononcé, pour se rapprocher encore davantage de la sinusoïde. Toutefois ce dernier procédé

([1]) On a eu des difficultés avec la marche en parallèle des génératrices à pièces polaires lamellées, et, pour les éviter, l'on a été réduit à employer des expédients, tels que l'amortisseur Hutin-Leblanc, etc. On a proposé aussi au lieu de cet amortisseur, de forts anneaux en bronze autour des électros pour atteindre le même but.

Il me semble toutefois que c'est bien compliquer une chose simple que de lameller d'abord les pôles pour y mettre ensuite un amortisseur !

On arrive aux mêmes résultats en laissant les pôles simplement solides et je n'ai jamais eu de difficultés avec la marche en parallèle des machines construites ainsi.

Il est, du reste, évident que la masse en acier des pièces polaires remplit tout aussi bien le rôle de l'amortisseur et ce serait rendre illusoire l'emploi du fer lamellé que d'y appliquer l'amortisseur.

Quant aux anneaux en bronze, on comprendra facilement qu'ils ne peuvent avoir aucun effet, étant donné que le même but est déjà toujours rempli par les bobines d'excitation, lesquelles sont toujours en court-circuit sur l'induit de l'excitatrice. Donc, par là même, aucune fluctuation sérieuse du flux ne saurait entrer dans les pôles, à cause de la self-induction énorme des bobines. Que l'alternateur soit monophasé ou polyphasé, le flux à l'intérieur des bobines inductrices sera toujours pratiquement constant, la moindre variation étant immédiatement égalisée par des courants occasionnés dans les bobines.

Il y a cependant un moyen d'augmenter la stabilité de la marche en parallèle, et qui peut aussi bien être appliqué aux pôles lamellés et solides, c'est de mettre entre les épanouissements polaires de fortes plaques en cuivre ou en bronze. Ce procédé est appliqué à la machine n° 21. Il est généralement adopté dans les machines Westinghouse, et rend de bons services aux installations actionnant des convertisseurs, en supprimant ce qu'on appelle en Amérique le « hunting ».

présente l'inconvénient qu'avec un entrefer minimum donné et suffisant au point de vue mécanique, l'entrefer moyen, intervenant pour le calcul de l'excitation, est plus grand.

L'épaisseur, ou hauteur radiale de l'épanouissement polaire, doit être aussi faible que possible, pour réduire la dispersion entre les points les plus rapprochés, et pour cette même raison l'embrassement ne doit pas être trop grand. D'autre part, la pièce polaire doit retenir la bobine excitatrice et la protéger contre les forces centrifuges. En même temps elle ne peut être trop mince car autrement le flux ne se repartirait pas assez régulièrement sur toute la surface polaire. Il y a donc à étudier beaucoup de conditions qui influent dans un sens ou l'autre, et cela nous explique la grande variété qu'on trouve en matière de pièces polaires.

Pôles. — On trouve des pôles de section rectangulaire, ovale et circulaire. Ils peuvent être lamellés ou solides, longs et courts et enfin encastrés ou non, ou bien même élargis à la base.

La section rectangulaire ne devrait être employée qu'avec des pôles lamellés; ici elle est la seule possible ([1]).

Dans la grande majorité des cas on peut construire toutes les génératrices avec pôles ronds et ce n'est qu'ainsi qu'on arrive à une construction vraiment économique. On peut employer les pôles ronds sans obtenir une vitesse circonférentielle trop considérable à l'exception seule peut-être des machines très puissantes, marchant à grande vitesse angulaire. Des machines du tableau, 9 ont des pôles ronds, 7 les ont lamellés.

La longueur radiale des électros doit dans une certaine mesure être déterminée par l'énergie qu'on veut sacrifier à l'excitation, mais il ne faut pas oublier que la dispersion entre deux noyaux augmente proportionnellement avec cette longueur et qu'on est obligé d'adopter une section plus forte si la dispersion est grande.

Il faut donc éviter des électros très longs; la longueur ne doit pas, en moyenne, dépasser de beaucoup le diamètre. Quelques constructeurs tombent dans l'excès contraire en prenant des pôles très courts pour diminuer la dispersion, mais de cette façon l'épaisseur de l'enroulement de la bobine devient trop grande au détriment de la surface refroidissante et du rendement, ainsi que de l'économie de cuivre. Les machines du tableau présentant les conditions extrêmes sont la machine n° 3 avec 12 cm seulement et les machines n°s 6 et 9 avec 35 et 29 cm de longueur.

Dans une génératrice bien construite (excepté lorsqu'elle doit alimenter des convertisseurs) les noyaux d'électros doivent être fortement saturés pour réduire au minimum la chute de voltage entre la marche à vide et à pleine charge ([2]).

([1]) Il y a cependant des alternateurs à pôles solides, de section rectangulaire, mais c'est une disposition peu heureuse. En effet, en employant des pôles solides, on devrait leur donner une section circulaire, ou tout au moins ovale. Une forme, autant que possible arrondie, permet de réaliser une grande économie de cuivre, tout en réduisant les pertes d'énergie pour l'excitation.

La longueur moyenne d'une spire est, à section d'électro égale, la plus petite pour une forme circulaire.

Le noyau d'électro circulaire est donc le plus avantageux au point de vue de l'économie du cuivre et du rendement. Mais comme il n'est pas toujours possible d'employer des électros ronds, à cause de la place disponible, il faut du moins s'en rapprocher et adopter dans ce cas une section ovale. D'ailleurs les bobines rondes ou ovales sont plus faciles à bobiner que celles de forme rectangulaire.

Je viens d'expliquer les avantages des électros ronds et ovales. Ce sont à la fois des arguments en faveur des pôles solides et contre les pôles lamellés qui ne peuvent être autres que de section rectangulaire. Nous avons déjà vu plus haut que les pulsations du flux ne peuvent pénétrer dans l'intérieur des bobines excitatrices. Dès lors, l'avantage des noyaux polaires lamellés disparait ; il ne reste donc que l'avantage des pièces polaires laminées, mais, comme nous l'avons démontré, cet avantage est encore très douteux, étant donné quele couplage en parallèle des alternateurs est plus difficile tant qu'on ne recourt pas à l'amortisseur.

([2]) En vue de cette saturation très forte quelquefois, il est donc d'une importance toute particulière de se servir pour les noyaux d'une matière dont on soit sûr. Il faut surtout éviter des soufflures, si fréquentes dans l'acier coulé. On a, par conséquent, souvent recours à l'acier comprimé ou forgé, donnant en même temps des dimensions exactes, car il est tout aussi important d'avoir exactement la section voulue que d'éviter les soufflures.

Pour ce même motif on pourrait attribuer une certaine supériorité aux noyaux lamellés où on n'a rien à craindre sous ce rapport, la perméabilité des tôles étant à la fois plus constante, quoique un peu inférieure à celle d'un bon acier. Mais nous avons vu plus haut à quel prix cet avantage serait acheté.

Beaucoup de constructeurs ont soin d'éviter une réluctance magnétique trop grande dans le passage du flux entre le noyau et le volant, surtout lorsque les électros en acier sont fortement saturés et que le volant est en fonte, beaucoup moins perméable. En effet, on trouve à la base des pôles souvent des inductions magnétiques dépassant 18000, chiffre qui pour la fonte exigerait un nombre d'ampères-tours pratiquement impossible (1).

Enroulement inducteur. — Les bobines inductrices doivent être dimensionnées d'après le principe : minimum de cuivre avec maximum de rendement. Pour obtenir ce résultat il faut surtout que la longueur moyenne d'une spire d'électro soit aussi réduite que possible. Il faut donc éviter tout ce qui peut augmenter la longueur des spires : le jeu entre la bobine et le noyau doit être petit, comme aussi l'épaisseur radiale de l'isolement entre noyau et enroulement, soit l'épaisseur de la carcasse isolante. Pour la même raison cette carcasse doit être faite de préférence en papier mâché, ou en matière isolante semblable, au lieu d'être en métal (laiton ou zinc), car dans ce dernier cas il faut encore isoler l'enroulement de ce métal, tandis qu'avec une bobine en papier, etc., ce n'est plus nécessaire.

La longueur moyenne d'une spire dépend encore de la hauteur ou épaisseur de l'enroulement. La spire est d'autant plus courte qu'il y a moins de couches de fil et que la hauteur d'enroulement est plus faible. En même temps la ventilation des bobines est meilleure et on peut appliquer une plus grande densité de courant sans échauffement nuisible.

Comme l'enroulement inducteur est sujet aux forces centrifuges, souvent très fortes, aux vibrations occasionnées par la marche à vitesse assez élevée, il doit être résistant mécaniquement.

Pour cette raison il faut éviter les fils ronds dont l'isolement peut souffrir facilement. Les fils rectangulaires, bien arrondis aux coins, sont de beaucoup préférables, mais autant que possible il faut employer l'enroulement à bande sur champ, lequel tout naturellement résiste le mieux aux forces centrifuges, vibrations, etc. Cet enroulement est le plus résistant mécaniquement sous tous les rapports et on l'applique de plus en plus, depuis que M. Brown l'a introduit dans la pratique industrielle. Il est surtout très pratique et facile à faire avec les alternateurs à pôles ronds; il permet de se passer entièrement de bobines. Il est intéressant d'observer que les enroulements les meilleurs au point de vue mécanique le sont aussi au point de vue de l'économie de cuivre et du rendement électrique.

Le plus avantageux est l'enroulement à bande sur champ, il permet de réduire au minimum la hauteur d'enroulement, la longueur moyenne, et partant le poids du cuivre, la perte par l'excitation et l'échauffement. Le fil rond est le moins favorable, celui de section rectangulaire étant intermédiaire.

Ces qualités des diverses méthodes de bobinage dépendent directement de l'utilisation de la place disponible pour l'enroulement inducteur (2).

---

(1) On peut remédier à cet inconvénient en encastrant les pôles dans la fonte ou en les élargissant à la base pour agrandir ainsi la section du passage et pour arriver à une induction inférieure dans la fonte. La pratique montre cependant qu'on peut fort bien se passer de ces deux procédés et que cette induction trop forte dans la fonte n'est pas tellement à craindre. Le flux passe en partie à côté par l'air, il se produit une dispersion favorable sans occasionner une augmentation notable des ampères-tours.

Pour arriver à un résultat correspondant mieux à la vérité, l'auteur ajoute toujours au calcul des ampères-tours ceux nécessaires pour les joints entre électros et volant, en supposant 0,25 mm d'entrefer pour chaque joint.

(2) Un exemple nous montre les qualités relatives : Dans le cas d'une section nécessaire du fil inducteur de 120 mm², on peut mettre dans une place donnée : 30 spires de fil rond, 39 spires de fil rectangulaire à coins arrondis, et 44 spires de bande sur champ. Pour une section de 50 mm², la bande sur champ n'est plus si avantageuse, elle donne environ le même résultat que le fil rectangulaire, car l'isolement entre deux couches de bande prend d'autant plus de place que la bande est plus fine. Voici les chiffres trouvés : Fil rond 66 spires, fil rectangulaire 86, et bande sur champ 87 spires. On voit que pour des sections inférieures à 50 ou 60 mm², le fil rectangulaire est déjà préférable, étant donné qu'il est plus facile à bobiner et que la bande est d'une application plus difficile lorsqu'elle devient trop mince.

Les chiffres indiqués nous donnent cependant un résultat incontestable, c'est qu'il ne faut jamais employer du fil rond.

Il reste encore une façon de bobiner les inducteurs : la bande mise à plat. Dans les deux cas cités, les chiffres

Parmi les machines du tableau, 14 ont un enroulement à ruban sur champ, 3 sur plat, 3 sont munies de bobines à fil rond et 2 de fil rectangulaire.

Quelques constructeurs croient pratique de ne bobiner qu'un pôle sur deux. Mais, comme pour un nombre d'ampères-tours donné le nombre total de spires est déterminé, il en résulte qu'il faut mettre sur une bobine deux fois autant de spires qu'en bobinant chaque pôle. La hauteur d'enroulement est par conséquent trop grande, ce qui a pour conséquence tous les inconvénients dont nous avons parlé déjà. En outre la dispersion augmente considérablement et en résultat définitif on obtient une machine plus lourde, plus coûteuse et un rendement légèrement inférieur.

Densité de courant. — Le nombre d'ampères par millimètre carré qu'on peut admettre dans l'induit des alternateurs de grande puissance est d'ordinaire très considérable ([1]).

La densité de courant maxima dans l'induit atteint 5,2 ampères par millimètre carré. En moyenne elle dépasse 3 ampères par millimètre carré. Sur les 23 alternateurs du tableau, 5 ont cependant une densité inférieure à 2, tandis que pour 8 machines elle dépasse 4 ampères par millimètre carré. En comparaison avec ce qu'on est habitué à voir dans les dynamos à courant continu, ce sont, certes, des densités très élevées.

Pour la densité de courant dans les bobines inductrices nous avons les mêmes observations à faire. Ici l'utilisation du cuivre est dans la majorité des cas très grande aussi.

Elle n'est pas, bien entendu, aussi bonne que dans l'induit à cause de la ventilation moins énergique, mais toujours la densité est-elle relativement plus grande que dans les dynamos à courant continu. Pour plusieurs machines du tableau elle atteint le chiffre de 3 ampères par millimètre carré ou presque. Pour 12 machines sur 23 du tableau elle dépasse 2 ampères par millimètre carré. En général, malgré ces densités assez grandes les bobines d'électros sont loin de chauffer ([2]).

Flux par pôle. — C'est la constante la plus importante de chaque machine électrique que nous allons discuter maintenant. Le flux par pôle détermine en effet toutes les qualités des machines : il détermine l'échauffement, la réaction d'induit, bref tout, et les dimensions principales de chaque machine en dépendent en premier lieu. Lorsque, pour un alternateur donné, on peut, en gardant la même chute de potentiel et le même échauffement, adopter un flux plus faible, c'est autant de gagné sur ses dimensions et presque autant sur le prix.

Pour calculer le flux avec un enroulement donné, divers auteurs recommandent de se servir de différents coefficients dits « de forme » selon le nombre d'encoches par pôle et l'angle d'em-

---

correspondants seraient d'environ 35 et 67 spires respectivement. Or, cet enroulement n'étant pas toujours facile à faire, est peu pratique à cause de l'épaisseur relativement grande de l'isolant entre deux couches de la bande. Cet isolant ne peut être trop mince, car les frottements intérieurs, résultant par exemple des forces centrifuges, pourraient facilement le percer.

([1]) Étant donné l'excellente ventilation de ces machines, dont la largeur est presque toujours très petite en comparaison avec le grand diamètre, l'échauffement du cuivre n'est pas tellement à craindre, et d'autant moins qu'une grande partie de l'enroulement se trouve en dehors des encoches, où une énorme quantité d'air circule constamment. Au point de vue du rendement une grande densité n'est pas défavorable non plus, du moins dans une certaine mesure. Une diminution de la section de cuivre permet, en effet, de réduire la profondeur de l'encoche, l'induction dans les dents restant la même, ou bien, à profondeur d'encoche égale, de réduire la largeur de l'induit. Ainsi, en général, on aura moins de perte dans le fer et la longueur moyenne d'un fil d'induit diminuera. On réalise donc une économie dans le cuivre et même dans le fer sans rien changer au rendement. Il est bien naturel, cependant, que ce raisonnement ne peut s'appliquer qu'aux machines où les pertes dans le fer prédominent.

([2]) Leurs dimensions sont d'ordinaire très petites en comparaison avec celles des dynamos à courant continu, ce qui permet déjà d'élever un peu la densité ; de plus, elles tournent avec une vitesse très considérable et si on n'arrive pas à des densités encore beaucoup plus grandes, c'est qu'on veut garder un bon rendement. Il est aussi possible qu'un constructeur timide qui n'a pas assez d'expérience craint un échauffement démesuré en s'éloignant trop des proportions adoptées généralement pour le courant continu.

En vérité, on peut, en ayant soin d'adopter une construction rationnelle, aller tranquillement jusqu'à une densité de 3 amp : mm² sans obtenir un mauvais rendement et sans échauffement appréciable. On arrive ainsi à une machine très économique.

brassement polaire. Cette méthode n'étant quand même pas absolument exacte, tout en compliquant beaucoup la chose, l'auteur a calculé simplement le flux en employant le facteur 1,11 lequel donne pour des alternateurs de construction courante des résultats suffisamment rapprochés de la réalité. Ceci s'applique pour l'enroulement induit à longues bobines. Pour les bobines courtes, le même coefficient est de rigueur, mais il faut introduire seulement la partie du flux qui traverse une bobine de l'induit. Le flux total s'obtient alors en multipliant le résultat trouvé par la proportion entre l'angle d'embrassement du pôle et celui de la bobine.

Induction magnétique. — Entre toutes les inductions, celle dans les dents est peut-être la plus importante, car il y a tout intérêt à saturer les dents autant que possible (1).

Huit machines du tableau ont une induction de 16 000 ou au delà, dont deux environ 20 000 (20 700 et 19 900).

L'induction dans le noyau de l'induit dépend de la fréquence, elle peut être d'autant plus élevée que la fréquence est plus faible. Pour 50 périodes, l'induction est en moyenne de 4 000 à 5 000, mais les chiffres extrêmes sont 2 800 et 7 100 (2).

L'induction dans l'entrefer n'a aucune importance directement. Il n'est nécessaire de la connaître que dans le but de calculer les ampères-tours pour l'entrefer. La section de l'entrefer dépend beaucoup de la forme des pièces polaires, des fentes aux encoches et de la forme de ces dernières comme aussi du nombre et de la largeur des couronnes ou disques de ventilation, divisant les tôles de l'induit en plusieurs paquets tenus en distance par ces couronnes.

Plus intéressante que l'induction dans l'entrefer est l'intensité du champ magnétique en supposant le flux réparti sur toute la surface intérieure de l'induit (excepté les couronnes de ventilation). Elle fournit une mesure de l'utilisation magnétique de la surface disponible, et nous montre si une machine travaille à flux fort ou faible. Nous voyons dans le tableau que cette constante varie entre 3 420 et 6 000 et que relativement les variations ne sont pas considérables.

Il nous reste encore à discuter l'induction dans les pôles, point d'une importance capitale pour la construction des alternateurs, du moins des alternateurs destinés à l'alimentation des réseaux d'éclairage, de moteurs asynchrones, etc. Pour les alternateurs alimentant des convertisseurs compound et marchant à faible fréquence les conditions sont tout à fait différentes ; nous en parlerons après. Actuellement il s'agit des alternateurs à faible chute de tension, faits pour la marche sur charge inductive. Dans le cas, de beaucoup le plus fréquent, de génératrices de ce type,

---

(1) Anciennement on craignait une forte saturation avec une fréquence de 50 périodes et on tâchait de rester en dessous de 14 à 16 000. Aujourd'hui encore, beaucoup de constructeurs ne vont pas au delà. Cependant la pratique a démontré qu'il n'y a rien à craindre, et qu'au contraire les pertes dans les dents, par hystérésis et courants de Foucault, diminuent d'ordinaire lorsqu'on augmente l'induction dans les dents. Bien entendu cependant, cela n'a lieu que lorsqu'on diminue en même temps la profondeur, tout en augmentant la largeur de l'encoche. Il est évident, au contraire, que les pertes augmentent rapidement avec l'induction croissante lorsqu'on considère les mêmes dents.

L'avantage d'une saturation plus forte se fait sentir en ce que la perte par unité de volume augmente, il est vrai, mais moins rapidement que le volume diminue. De plus, une faible profondeur de l'encoche rendue possible par l'induction plus forte permet de réduire la dispersion de l'induit. Donc, on peut dire que pour des dimensions de l'induit et un certain flux donnés, il est préférable d'avoir des dents saturées, la forte saturation conduisant indirectement à une réduction des pertes dans les dents.

(2) L'auteur n'a pas tenu compte des boulons de serrage, qui, dans beaucoup de machines, traversent les tôles et diminuent la section du noyau. Il est évidemment préférable de placer les boulons en dehors des tôles, mais au point de vue de la construction cela entraîne des complications.

Les tôles de l'induit peuvent être plus fortement saturées avec une fréquence inférieure, comme 25 périodes par seconde. Dans ce cas, l'induction atteint environ 8 000 à 10 000 lignes par cm².

Théoriquement on devrait chercher à réduire au minimum l'induction dans le noyau d'induit, en vue de diminuer les pertes par hystérésis et courants de Foucault. Mais d'abord, ces pertes diminuent relativement peu avec la diminution de l'induction, étant donné que le poids augmente simultanément. Ensuite, l'induction ne diminue pas inversement à la section, à cause de la longueur croissante des lignes de force, et en dernier lieu une induction trop faible entraînerait un poids trop grand des tôles et serait ainsi payée trop cher. Pour 50 périodes on ne devrait pas aller au-dessous de 4 000 lignes et employer plutôt 5 000 à 6 000.

il y a intérêt à saturer fortement les électros. Le fait est assez connu aujourd'hui que les alternateurs à électros saturés ont, à autres conditions égales, une chute de voltage plus faible entre marche à vide et pleine charge inductive.

Aussi beaucoup de constructeurs s'en servent-ils déjà et dans le tableau nous rencontrons des inductions d'électros très élevées. L'induction maxima que j'ai trouvée est de 18 900, chiffre extrêmement haut, atteint par 3 machines. Il y a encore 7 autres machines où l'induction de 18 000 est dépassée. Mais, bien entendu, ce sont les inductions maxima, à la base des électros à l'endroit où la dispersion entière s'ajoute au flux utile [1].

L'induction dans les pôles diminue graduellement de la base jusqu'à la pièce polaire où elle atteint son minimum. Le tableau indique ce minimum constitué par le flux utile entrant dans l'induit plus la dispersion entre les pointes des pièces polaires.

L'induction minima est en général bien plus faible et atteint pour une machine seulement le chiffre de 17 000. Ainsi malgré une saturation paraissant exagérée à la base des pôles les ampères-tours nécessaires pour les électros restent dans des limites raisonnables.

Les alternateurs à faible fréquence, servant pour la plupart à alimenter des convertisseurs ont des conditions différentes à remplir. Dans ce cas, il s'agit d'ordinaire de compenser les pertes de voltage dans la ligne par une surexcitation des convertisseurs et les génératrices doivent pouvoir monter en voltage. Aussi ces génératrices se construisent-elles avec une saturation moins forte du fer, ce que du reste notre tableau confirme. Elles peuvent avoir une chute de voltage assez grande et celle-ci est souvent considérée comme favorable.

Dispersion des inducteurs. — Les bobines inductrices créent en dehors du flux qui doit traverser l'induit, chemin voulu, encore un flux dérivé, choisissant tout chemin possible à condition seulement que ce chemin passe par la bobine excitatrice ou une partie de cette bobine. La densité du flux de dispersion, ou l'induction aux différents endroits suffira toujours à la condition que la somme des forces magnétomotrices sur tout le parcours d'une ligne de force soit égale à la force magnétomotrice de la bobine ou de cette partie de la bobine qui enferme ladite ligne.

Comme conséquence de la dispersion, le flux à l'intérieur des bobines d'excitation est plus fort que celui qui doit entrer dans l'induit, soit le flux utile.

Le flux de dispersion [2] est d'autant plus fort que l'excitation augmente et, excepté pour des électros très fortement saturés, il lui est proportionnel.

On peut calculer avec une approximation suffisante les flux de dispersion, celui entre les pièces polaires, comme aussi entre les noyaux d'électros. Les réluctances magnétiques, celles respectives des deux flux, peuvent être estimées d'après les proportions géométriques données par le dessin.

Comme force magnétomotrice il faut adopter pour les pièces polaires les ampères-tours nécessaires pour l'entrefer et le fer de l'induit. Pour la dispersion entre noyaux, le minimum de la force magnétomotrice, à la base de l'électro, est nul, son maximum atteint le même chiffre que pour les pièces polaires. On n'a qu'à prendre la moyenne entre les deux pour calculer la dispersion entre noyaux.

Ces deux dispersions sont très différentes, selon la forme de l'arc d'embrassement des pièces polaires, la section et la longueur des noyaux et enfin selon la distance entre les pôles.

Pour 9 machines du tableau la dispersion entre pièces polaires est la plus grande, pour les autres c'est la dispersion entre les noyaux polaires qui prédomine. Le coefficient de dispersion varie également beaucoup. Son maximum atteint 1,74 (machine n° 5), chiffre énorme, dû surtout

[1] Il est même douteux qu'une induction comme 18 900 ait réellement lieu et peut-être une partie des lignes de force passe-t-elle à cet endroit par l'air à côté, de sorte que l'induction dans le fer est inférieure. Il se produirait alors une dispersion utile. Mais comme il est difficile d'en tenir compte dans le calcul, l'auteur préfère indiquer simplement l'induction calculée de la façon ordinaire.

[2] J'appelle *dispersion* la proportion entre le flux de dérivation et le flux utile ; *coefficient de dispersion*, le rapport entre flux total et flux utile. Pour une dispersion de 0,5, le coefficient de dispersion sera de 1,5.

****

au grand angle d'embrassement polaire (0,8 du pas) ; aussi la dispersion entre pièces polaires est-elle pour cette machine trois fois plus grande que celle entre noyaux.

Pour la machine n° 2, ce coefficient est de 1,59. Ici les deux tiers de la dispersion ont lieu entre les noyaux, la machine étant très large, peu saturée, et ayant des noyaux assez longs.

Le minimum du coefficient de dispersion 1,18, est obtenu par la machine n° 21, à pôles très courts et sans pièces polaires.

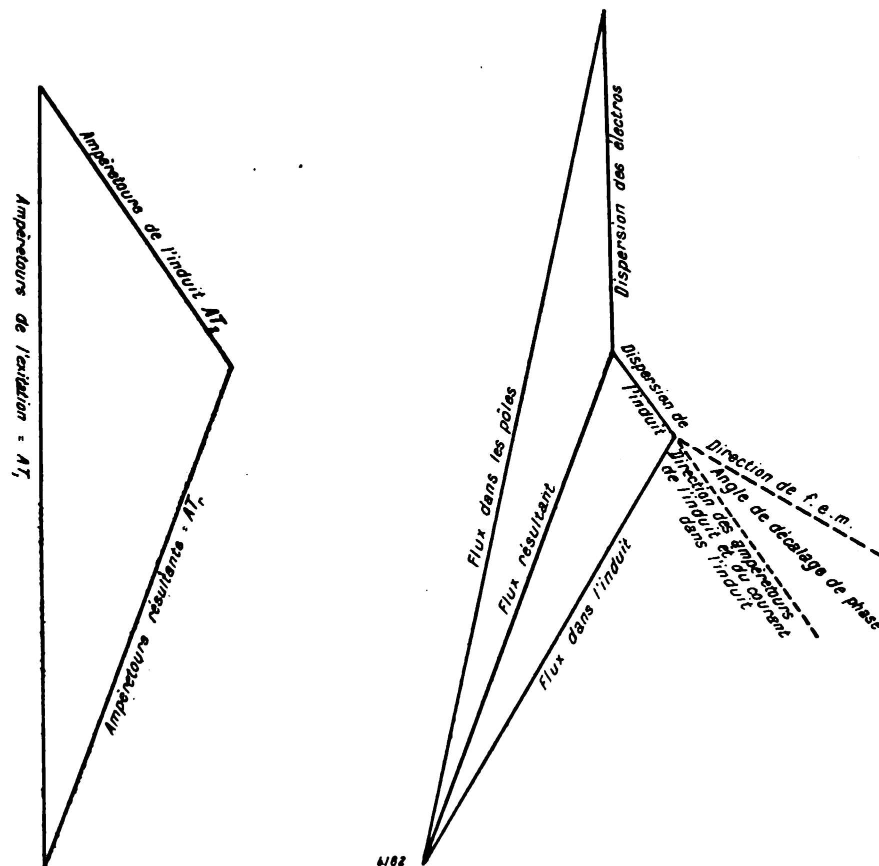


Fig. 1 et 2.

Anciennement on se contentait d'adopter un coefficient de dispersion donné pour chaque type de dynamo, mais la grande variété de ces coefficients que montre le tableau pour des machines d'un type semblable prouve qu'il faut absolument calculer la dispersion, et d'une façon aussi exacte que possible, du moins pour les génératrices à forte saturation. Sans un calcul pareil le constructeur pourrait facilement éprouver des surprises très désagréables [1].

Dispersion de l'induit. — L'enroulement de l'induit, lorsque la machine est chargée, produit aussi une force magnétomotrice que nous exprimons en ampères-tours. Ces ampères-tours de l'induit (ampères-tours secondaires : AT_2) se composent géométriquement et selon la phase du courant avec les ampères-tours des électros (ampères tours primaires : AT_1) pour fournir les ampères-tours résultants (AT_r), lesquels produisent le flux résultant, c'est-à-dire le flux qui passe par l'induit aussi bien que par les inducteurs.

---

(1) Pour diminuer la dispersion, les pôles doivent être courts et les pièces polaires minces, à angle d'embrassement modéré. En général, la dispersion peut être considérable sans aucun inconvénient, pourvu seulement qu'on s'en rende compte et que les noyaux polaires soient dimensionnés en conséquence. On admettra donc tranquillement une forte dispersion lorsque, avec, ou malgré cette dispersion, la machine en question sera la plus avantageuse.

A ce flux résultant, commun aux deux systèmes, s'ajoute dans le système inducteur (système primaire) le flux de dispersion primaire dont nous venons de parler. Également dans l'induit il s'y ajoute géométriquement le flux de dispersion de l'induit (dispersion secondaire).

Cette dispersion secondaire est, comme les ampères-tours secondaires, en phase avec le courant induit lequel forme avec la force électromotrice l'angle φ de décalage de phase. La force électromotrice vraie est à angle droit avec le flux résultant qui la produit et lui est proportionnelle. Les ampères-tours et la dispersion secondaire sont proportionnels au courant induit. Un diagramme expliquera mieux toutes ces relations.

Dans ce diagramme (fig. 1 et 2) les ampères-tours résultants (AT_r) sont parallèles au flux résultant, les flux de dispersion, primaire et secondaire, sont parallèles aux ampères-tours respectifs. Ce diagramme donne des résultats confirmés par de nombreux essais de l'auteur et d'autres constructeurs. On ne compte qu'avec des flux et des forces électromotrices qui réellement existent et on peut suivre exactement l'influence de la saturation, de la réaction d'induit des deux dispersions, etc. Toutes les autres méthodes de calculer la réaction d'induit, chute de voltage, traitant avec la self-induction de l'induit et avec différentes forces électromotrices composées géométriquement sont moins exactes et surtout d'une application difficile à la prédétermination des alternateurs [1].

Le diagramme montre que la dispersion secondaire a sensiblement le même effet qu'une augmentation des ampères-tours de l'induit, c'est-à-dire une réaction d'induit plus forte. La caractéristique en court-circuit, courbe très importante pour l'examen d'un alternateur, mesure directement l'effet des ampères-tours et de la dispersion secondaire, prises ensemble [2].

Dans les alternateurs modernes la dispersion d'induit n'est pas importante et il suffit généralement d'en tenir compte par une légère augmentation des ampères-tours d'induit. Par contre dans les anciens alternateurs américains à grande fréquence la dispersion jouait un rôle prépondérant. Son influence diminue en général avec la fréquence. La forme des encoches y intervient pour beaucoup. Ainsi la dispersion est plus faible lorsqu'elles sont peu profondes, larges relativement au pas, et autant que possible ouvertes. Une augmentation de l'entrefer et une diminution de l'angle d'embrassement du pôle influent un peu dans un sens favorable.

Mais, contrairement à ce qu'on prétend souvent, le nombre d'encoches par pôle n'a presque aucune influence, pourvu seulement que la relation de la largeur d'encoche aux pas des encoches et leur profondeur restent les mêmes. A autres conditions, comme forme des encoches, etc., égales, le flux dérivé sera proportionnel à la largeur de l'induit et aux ampères-tours de l'induit. Il sera inversement proportionnel à la distance entre deux pôles, ou pour une fréquence donnée au diamètre de l'induit. En introduisant au lieu du flux dérivé le rapport $\frac{\text{flux dérivé}}{\text{flux utile}}$ représentant ce que nous avons nommé *la dispersion* nous aurons pour un induit triphasé une constante

$$S = \frac{1{,}5.\sqrt{2}.\ (\text{Courant}).\ (\text{Fils par phase}).\ (\text{Largeur induit}).}{(\text{Flux utile}).\ (\text{Diamètre induit}).}$$

cette constante S [3] étant proportionnelle à la dispersion [4].

La constante S varie relativement peu pour les machines du tableau, moins qu'on aurait pu supposer. Exception faite de trois machines, elle varie entre $1{,}76.10^{-3}$ et $4{,}55.10^{-3}$ seulement.

---

(1) Voir sur le même sujet les travaux de l'auteur : *Elektrotechnische Zeitschrift*, 1895 et 1899.

(2) Voir l'article de l'auteur : *Elektrotechnische Zeitschrift*.

(3) Voir l'article de l'auteur : *Elektrotechnische Zeitschrift*, 1898.

(4) Nous avons dans cette formule substitué aux ampères-tours les ampères-conducteurs d'un induit triphasé, ayant la valeur $1{,}5\sqrt{2} = 2{,}12$ fois les ampères-conducteurs d'une phase. Anciennement on se servait souvent d'une constante pareille, trouvée par Kolben, d'après laquelle les ampères-conducteurs par cm de pourtour de l'induit ne devaient pas dépasser une certaine valeur (100 à 150). On voit facilement que la constante de Kolben est implicitement contenue dans la mienne et qu'elle n'est juste que pour une largeur d'induit et un flux utile donnés.

Les trois autres machines ont une constante S de $0,6.10^{-3}$ (n° 21 avec 25 périodes seulement) $5,75.10^{-3}$ et 6.10^{-3} (pour les n°s 17 et 13, machines établies par l'auteur). Ce dernier chiffre est élevé, mais comme l'expérience l'a prouvé, absolument admissible. En général cette constante de dispersion peut être plus élevée pour les machines à encoches ouvertes et doit être inférieure pour celles à encoches fermées. Pour les génératrices de faible fréquence elle sera favorablement plus petite pour ne pas arriver à un flux trop faible. On peut dire qu'un alternateur marchant à 50 périodes (100 alternances) ayant une constante S trop faible sera peu utilisé, ses dimensions seront trop grandes et sa construction peu économique.

Ampères-tours de l'induit. — Dans le tableau les ampères-tours secondaires sont calculés selon la formule

$$AT_2 = 1,5\sqrt{2}.\ \text{(Courant par phase). (Spires par phase).}$$

Dans le cas d'une génératrice monophasée le facteur $1,5.\sqrt{2}$ est remplacé par $0,9 = \frac{\sqrt{2}}{\pi/2}$.

Les ampères-tours de l'induit ne nous intéressent pas directement et c'est surtout leur relation aux ampères-tours de l'excitation qui est importante, soit le quotient $AT_2 : AT_1$ qu'on peut appeler *constante de réaction*. En effet la réaction d'induit dépend directement de cette relation. Dans le tableau se trouve la valeur de cette constante. Comme ampères-tours primaires sont introduits les ampères-tours sans réaction, c'est-à-dire les ampères-tours nécessaires d'après le calcul pour l'excitation sans charge, mais avec le flux, les dispersions et la force électromotrice qui correspondent à la marche sous pleine charge avec voltage normal aux bornes. Les ampères-tours sans réaction, constituent une valeur théorique qu'on ne peut pas mesurer directement, ni emprunter à la caractéristique à vide à moins que la machine ne soit très peu saturée. Dans le cas d'une machine fortement saturée, la différence entre ampères-tours à vide et ampères-tours sans réaction peut atteindre 10 à 15 p. 100.

La constante de réaction est une des plus importantes pour le fonctionnement d'un alternateur. Dans une génératrice peu saturée tout en dépend. Aussi, il y a quelques années, on tâchait de réduire la chute de voltage par une réduction de ce coefficient. Les ampères-tours de l'induit ne devaient dépasser un quart ou un cinquième des ampères-tours à vide pour avoir une faible réaction. C'est à cause d'une réaction trop forte que les premières génératrices triphasées donnaient des résultats si insuffisants pour l'alimentation de moteurs asynchrones. Dans le tableau la constante de réaction varie entre 0, 15 et 0,47. Dans 7 cas elle est de 0,2 ou en dessous, la valeur 0,3 étant dépassée seulement 5 fois. On voit donc que les constructeurs sont encore très prudents sous ce rapport.

On peut bien, cependant, avec une machine fortement saturée atteindre 0,4 sans aucun inconvénient pour la marche sur moteurs.

Caractéristique en court-circuit. — Le courant produit par une génératrice en court-circuit est proportionnel à l'excitation. La caractéristique passe par le point d'origine, tant qu'il n'y a pas de magnétisme rémanent et elle reste droite à moins que les conditions de saturation et de dispersion d'induit ne soient absolument anormales.

En court-circuit les ampères-tours primaires se tiennent en équilibre avec les ampères-tours secondaires plus l'équivalent de la dispersion d'induit exprimé en ampères-tours [1].

La dispersion d'induit étant différente pour différentes machines et le facteur théorique $1,5\sqrt{2}$ qui figure dans la formule des ampères-tours d'induit, variant en réalité selon le nombre d'encoches et avec les déflexions de la sinusoïde, la proportion entre ampères-tours d'induit et ampères-tours en court-circuit n'est pas constante. Elle varie d'après l'expérience de l'auteur entre 0,65 et 1,0. Le chiffre trouvé dans la grande majorité des cas, et pour des génératrices hétéropolaires de construction moderne est d'environ 0,75, c'est pourquoi l'auteur l'emploie pour le calcul des

[1] Voir l'article de l'auteur : *Elektrotechnische Zeitschrift 1899*, et *l'Éclairage Électrique*, t. XXII, p. 296, 24 février 1900, où la caractéristique en court-circuit est traitée à fond.

ampères-tours en court-circuit. Toutefois nous trouvons dans le tableau des chiffres comme 0,55 même, et d'autre part il y en a qui dépassent l'unité.

Je ne sais pas au juste comment expliquer de telles différences et je ne crois pas impossible qu'elles soient basées sur des erreurs de mesure ou d'impression.

Une partie de la différence pourrait s'expliquer si la caractéristique en court-circuit ne passait pas par le point d'origine des axes. Dans ce cas, il faut tracer la caractéristique corrigée, parallèlement à l'autre, mais partant du point d'origine. La nouvelle courbe sera indépendante du magnétisme rémanent.

Perte d'énergie dans le cuivre induit. — Cette perte, exprimée en pour cent de la puissance apparente, varie beaucoup selon la construction de l'alternateur. Les chiffres extrêmes sont 0,7 p. 100 et 2,5 p. 100. A elle seule, la perte dans le cuivre induit n'a pas d'importance, sa valeur ne décide encore rien sur le rendement. Plus intéressante est sa relation aux pertes dans le fer de l'induit. On peut changer cette relation en faveur de l'une ou des autres, pourvu que la somme totale et le rendement restent les mêmes. Lorsque la perte dans le cuivre prédomine, on aura un meilleur rendement à faible charge. Pour une machine qui doit supporter temporairement des surcharges très fortes (par exemple 50 p. 100 ou davantage), il est préférable que les pertes dans le fer dominent. Mais, en général, cette question est peu importante, car le rendement des génératrices de grande puissance est si élevé qu'il varie peu avec la charge; le constructeur pourra donc proportionner les pertes selon son goût. Au point de vue d'une construction économique, les génératrices à pertes dans le fer réduites, et par conséquent à faible flux, sont les plus avantageuses parce que, à poids de cuivre à peu près égal, celui du fer est notablement inférieur.

Pertes dans le fer de l'induit. — Les pertes par hystérésis et courants de Foucault constituent un élément souvent variable et incertain. Elles dépendent en effet des qualités des tôles, de la façon de les monter et de les travailler, et enfin de leur préparation spéciale, s'il y a lieu. En Europe, les tôles ne sont généralement pas recuites après le poinçonnage, pratique beaucoup employée en Amérique et réclamée comme préparation spéciale et secrète. Il est certain que cette pratique réduit les pertes dans le fer. Quant aux qualités du fer, il faut essayer chaque envoi de tôles avant de les employer, quoique à présent les qualités du fer varient déjà moins, leur fabrication garantissant un produit plus égal.

En tous cas, les pertes sont toujours plus grandes que celles calculées d'après la méthode de Steinmetz et souvent même quatre ou cinq fois plus grandes, lorsque la construction ou le travail ne sont pas rationnels. Les chiffres calculés par l'auteur et indiqués dans le tableau peuvent différer notablement de ceux donnés par les constructeurs ou des résultats d'essais, mais, en général, la différence avec ces derniers ne sera pas grande [1].

La valeur des pertes dans le fer, calculées par l'auteur, varie entre 2,25 p. 100 et 5,5 p. 100 du débit. (Pour le n° 3, l'auteur a trouvé plus de 8 p. 100, mais il est possible qu'il y ait erreur dans les dimensions).

La grande majorité des machines du tableau a des pertes dans le fer dépassant 3,5 et 4 p. 100. En comparant ces chiffres avec ceux obtenus pour la perte Joule dans le cuivre induit, on verra que généralement cette dernière est de beaucoup inférieure. Une seule génératrice (le n° 13), a la perte Joule plus grande que les pertes dans le fer; pour quelques autres machines ces deux

---

[1] Dans le chapitre traitant de l'induction dans le noyau et les dents, nous avons déjà constaté qu'il n'y a pas intérêt à trop réduire l'induction dans le noyau, et qu'au contraire il y a tout intérêt à saturer les dents, bien entendu, en diminuant la profondeur d'encoche. C'est ainsi qu'on obtient le minimum de pertes dans les dents.

Quelques constructeurs emploient pour une fréquence de 50 périodes par seconde, une épaisseur de tôle de 0,3 à 0,4 mm, au lieu de la tôle ordinaire de 0,5 mm. Ce procédé, qui augmente un peu le prix de la machine, n'est pratique que lorsqu'on met beaucoup de soin au travail pour éviter que, malgré une tôle plus fine, les pertes ne soient plus grandes. Le découpage des tôles doit être très exact et il faut absolument éviter tout limage et toute bavure.

chiffres se rapprochent encore, mais pour le gros les pertes dans le fer montent au triple et même jusqu'au quadruple de celles dans le cuivre.

PERTE POUR L'EXCITATION. — Les électriciens ne sont pas toujours d'accord sur ce qu'il faut considérer comme perte dans l'excitation des alternateurs. Pour éviter tout malentendu, je compterai seulement le courant nécessaire pour l'excitation en charge non-inductive; le carré de ce courant multiplié par la résistance à chaud des électros donne la perte en question, la même qui intervient dans le calcul du rendement. Elle varie entre 0,36 p. 100 et 2,6 p. 100.

En charge inductive, cette perte augmente beaucoup, car elle croît avec le carré du courant d'excitation. Malheureusement, ces chiffres ne se laissent pas bien comparer, car le décalage de phase est variable et on aurait des résultats trop différents.

DIMENSIONS DE L'INDUIT. — Pour déterminer les dimensions de l'induit des dynamos, il y a une ancienne formule de Esson et Fischer-Hinnen que j'ai transformée et qui m'a rendu de bons services. J'ai obtenu par ladite transformation une constante, que je désigne par la lettre K et qu'on peut nommer constante de grandeur de l'induit,

$$K = \frac{\text{(Largeur de l'induit) (Vitesse angulaire) (Diamètre)}^2}{\text{Puissance}}.$$

Il faut exprimer la largeur de fer de l'induit et le diamètre en centimètres, la vitesse angulaire en tours par minute, et la puissance en watts. Cette constante K décroît un peu avec la puissance des machines. Elle est plus grande pour les petites machines. Cela s'explique facilement, car chaque constructeur sait qu'une petite dynamo se construit moins économiquement en comparaison avec une grande. On peut bien discuter la valeur de cette constante, la puissance d'une dynamo n'étant pas directement proportionnelle aux éléments de la constante K, mais il est incontestable qu'elle donne tout de même une certaine mesure des dimensions d'une machine. Nous l'emploierons donc pour comparer la grandeur de l'induit. Un coup d'œil sur la colonne correspondante du tableau montre la grande variabilité de la constante K.

Son maximum est en effet de 1 360, tandis que le minimum est de 343. Comme les puissances et vitesses des deux machines (n°s 6 et 13) sont du même ordre, on voit qu'un induit est quatre fois plus grand que l'autre! En vue des chiffres obtenus pour la constante K, on peut dire que la plupart des constructeurs emploient des dimensions plutôt grandes, qui ne sont point économiques, car il est évident que les frais de fabrication, de transport, le poids, etc., augmentent avec les dimensions. Cinq alternateurs seulement ont la constante K inférieure ou égale à 500 environ, tandis que pour dix machines elle atteint ou dépasse 900. La tendance générale pendant ces dernières années est, dans la construction des dynamos, de réduire les dimensions, aussi voit-on qu'il reste encore beaucoup à faire et qu'en attendant les alternateurs se construisent, en général, trop grands.

POIDS DES PÔLES. — Le tableau indique le poids des pôles des alternateurs, sans compter la partie encastrée dans le volant, mais y compris les pièces polaires. Ces poids sont approximatifs. On voit que pour des machines de puissance égale ou à peu près, le poids des pôles varie énormément.

Ainsi la machine n° 6 a 8 100 kg, tandis que le n° 13, de puissance plus grande, n'a que 1 600 kg. Ces différences s'expliquent surtout par un flux plus ou moins fort, mais aussi par la longueur, l'induction, etc. des pôles.

POIDS DES TÔLES. — Ce poids, comme il est indiqué dans le tableau, contient celui du noyau de l'induit, plus la partie des tôles réservée pour les dents, mais les encoches étant supposées pleines.

PUISSANCE ET VITESSE. — Pour pouvoir comparer l'économie relative des alternateurs, il faut se mettre d'accord sur la base de cette comparaison. Il n'existe malheureusement pas de base exacte, mais bien plusieurs bases approximatives. Employer comme base simplement la puissance

serait trop simplifier la chose, la vitesse n'étant pas ainsi considérée. Il est donc préférable d'employer le quotient $\frac{\text{kilovolts-ampères}}{\text{tours par minutes}}$ comme base de la comparaison. Dans une série complète de machines, construites sur les mêmes principes, les poids du cuivre, du fer, etc. sont proportionnels à peu près à la racine 1,5 de ce quotient.

Pour ne pas trop compliquer, gardons cependant comme base le quotient simplement.

Poids du fer par $\frac{\text{kilovolts-ampères}}{\text{tours}}$. — Dans le tableau nous voyons que le poids du fer varie considérablement, le minimum étant de 393 kg, contre un maximum de 3 090 kg par kilovolts-ampères : tours. Cela veut dire qu'une machine contient presque huit fois autant de fer (tôles et acier nécessaires pour le circuit magnétique) qu'une autre !

Pour la plupart des machines, le chiffre correspondant se trouve compris entre 800 et 2 000, le minimum de 393 étant encore approché par deux machines avec les chiffres 442 et 534 kg.

Il faut remarquer que dans ces poids n'entre pas celui du volant qui pourrait être choisi plus lourd pour des raisons à part, ni le poids de fonte, acier, etc., de la construction mécanique.

Poids du cuivre par $\frac{\text{kilovolts-ampères}}{\text{tours}}$. — Le poids du cuivre varie également dans des limites très grandes. Pour la machine ayant le minimum de cuivre, ce chiffre est de 117 kg. Il y a encore 6 autres machines avec moins de 200 kg, tandis que 5 génératrices ont plus de 400 kg, dont une atteint même 830, chiffre très élevé. Le rapport du maximum au minimum est ici encore de huit, à peu près.

Prix de la matière électromagnétique. — J'ai tâché de trouver une base pour la comparaison du prix de revient de la matière électromagnétique des génératrices du tableau. Il est impossible d'avoir une comparaison exacte et également impossible d'introduire le prix en francs et centimes, car les machines proviennent de différents pays et les prix sont variables avec le temps. Aussi, pour avoir quelque chose de plus stable, j'ai supposé que le cuivre coûte 5 fois le prix du fer (acier ou tôle) en moyenne. Ainsi nous n'avons qu'à comparer les poids, en ajoutant au poids du fer celui du cuivre multiplié par 5. Le tableau contient en conséquence le poids du (fer + 5 cuivre) par $\frac{\text{kilovolts-ampères}}{\text{tours}}$.

Ce poids varie entre 1 027 comme minimum (n° 14) et 5 560 comme maximum (n° 18). Une machine contient donc cinq fois autant de matière active qu'une autre, ce qu'il faut considérer comme une différence très grande malgré que l'une de ces machines soit beaucoup plus puissante que l'autre, soit 1 400 kilovolts-ampères dans le cas du n° 14 contre 220 seulement pour l'autre. La puissance par pôle, qui, en dernier lieu, détermine les proportions d'un alternateur est dans les deux cas de 16,6 et de 4,4 kilovolts-ampères respectivement. L'élément de la construction électromagnétique est donc presque quatre fois plus grand dans le n° 14. La colonne contenant le poids du fer, plus cinq fois celui du cuivre sera la plus intéressante du tableau, car elle nous montre l'économie relative des différentes génératrices. Elle prouve en même temps que la plupart des alternateurs sont encore loin d'être économiques [1].

Calcul de l'excitation. — Nous avons vu plus haut que la caractéristique en court-circuit nous fournit un excellent moyen de mesurer les principaux éléments qui déterminent l'excitation en charge d'une génératrice dont l'excitation à vide est connue.

La caractéristique en court-circuit nous donne les ampères-tours de l'induit avec la dispersion d'induit réduite à l'échelle des ampères-tours.

---

[1] Il est facile de comprendre, toutefois, que le prix de la matière active n'est pas la seule chose dont dépend le prix de revient d'un alternateur. Pour arriver à celui-ci il faut encore savoir le poids de la matière inactive au point de vue électrique, nécessaire seulement pour la construction mécanique, et alors même il faudra encore ajouter la main d'œuvre qui dépend du diamètre et de la construction générale plus ou moins pratique. Comme règle générale, on peut dire que de deux alternateurs à prix de la matière active égale, celui dont le diamètre est plus petit aura un prix de revient inférieur.

En composant maintenant l'excitation à vide pour une force électromotrice voulue avec l'excitation en court-circuit pour la charge donnée, nous obtenons l'excitation en charge. Les deux excitations composantes doivent enfermer l'angle de décalage de phase plus 90°.

Ainsi, en cas d'une charge non inductive on compose les deux excitations à angle droit. L'excitation en charge sera alors représentée par la résultante.

L'excitation à vide qu'il faut introduire ici doit être corrigée lorsque l'alternateur est fortement saturé. Dans ce cas, il faut compter avec une excitation imaginaire que j'ai appelée : *excitation sans réaction* correspondant aux ampères-tours *sans réaction*. La différence entre ces ampères-tours et ceux à vide pour une force électromotrice donnée est due à la dispersion des électros qui en charge est plus grande qu'à vide.

Les électros sont ainsi plus saturés en charge qu'à vide et la correction mentionnée doit tenir compte de cette différence de saturation.

Le calcul de l'excitation en charge s'opère donc pour un facteur de puissance ($\cos \varphi$) donné de la façon suivante. On ajoute au voltage aux bornes la perte en volts dans la résistance de l'enroulement induit. Approximativement la perte en volts est égale au produit : courant $\times$ résistance $\times$ $\cos \varphi$.

La somme nous donne la force électromotrice d'après laquelle on calcule le flux, les inductions, les ampères-tours pour les différentes parties du circuit magnétique. Le total des ampères-tours est alors ce que je viens d'appeler ampères-tours sans réaction.

Maintenant on n'a plus qu'à ajouter, graphiquement, sous l'angle ($\varphi + 90°$) les ampères-tours de la caractéristique en court-circuit pour la charge en question et l'on obtient les ampères-tours correspondant à cette dernière. C'est ainsi que sont calculées les excitations en pleine charge contenues dans le tableau.

On trouve, en comparant les résultats de mon calcul avec les excitations indiquées par les constructeurs, que les deux chiffres seront souvent en désaccord. Cela peut s'expliquer, certes, en partie au moins, par l'inexactitude de la méthode du calcul, mais je suppose d'autre part que dans beaucoup de cas les résultats d'essais n'ont pas été faits avec la précision voulue, et que quelques-uns des chiffres indiqués seront peut-être trouvés par un calcul plus ou moins approximatif.

Pour un très grand nombre de génératrices poly et monophasées, j'ai trouvé dans ma pratique des six dernières années que la méthode employée plus haut donne des résultats absolument satisfaisants.

(*A Suivre.*) Alexandre ROTHERT.

SUR LES PROPRIÉTÉS DES ANNEAUX A COLLECTEUR

J'ai lu avec beaucoup d'intérêt la note de M. Leblanc, publiée sous ce titre le 26 octobre, se rapportant à un moteur asynchrone auto-excitateur du genre que j'ai indiqué il y a quelque temps (¹) et dont, par hasard, une description se trouve également dans le même numéro de ce journal. L'examen de M. Leblanc s'étend, je ne sais pour quelle raison, sur un moteur avec collecteur normal, et j'approuve complètement les conclusions de M. Leblanc, qu'un tel moteur ne saurait vraisemblablement marcher.

Sans doute, dans ma description, il lui est échappé qu'une des parties brevetées les plus caractéristiques de mon moteur est l'emploi d'un anneau fermé au lieu d'un simple commutateur. Il faudrait donc ajouter, dans la figure 1, des conducteurs *ccc*... de résistance appréciable (fig. 1).

(¹) *Elektrotechnische Zeitschrift*, 8 août, p. 633 ; *London « Electrician »*, 16 août, p. 623 ; *L'Industrie Electrique*, 10 septembre, p. 589 ; *L'Eclairage Electrique*, 26 octobre, p. 117.

ci-jointe) et sans inductance, qui réunissent les lames du collecteur entre elles. Mais cette altération changerait aussi, au fond, toutes les conclusions ([1]).

Supposons que la résistance ohmique de ces conducteurs soit la même que celle du bobinage. Supposons d'abord que les connexions entre bobinage et collecteur soient coupées. Tout le courant des balais passerait donc par les conducteurs sans inductance. Ce courant, malgré la commutation ne serait pas, il est vrai, un courant continu exact, mais bien un courant oscillant qui naturellement passerait facilement par les conducteurs sans inductance *ccc*... En conséquence le potentiel de quelqu'une des lames du collecteur ne serait pas constant, mais il oscillerait également entre un maximum et un minimum. Supposons que ces oscillations soient représentées, en plus grand, par une courbe I (figure 2) et varient entre + et zéro.

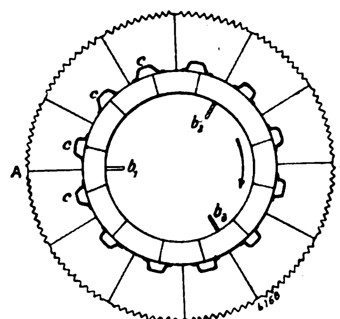


Fig. 1.

Si nous relions maintenant le bobinage au collecteur, le courant se diviserait en deux parties (fig. 3). Une partie II, un courant continu, défini par la tension moyenne, entrerait dans le bobinage, et le reste III, un courant plus ou moins alternatif, trouverait sa route dans les conducteurs sans inductance *ccc*... Il faut ajouter en réalité que les oscillations sont naturellement beaucoup moins fortes que celles présentées par ces figures, choisies seulement pour expliquer les procédés.

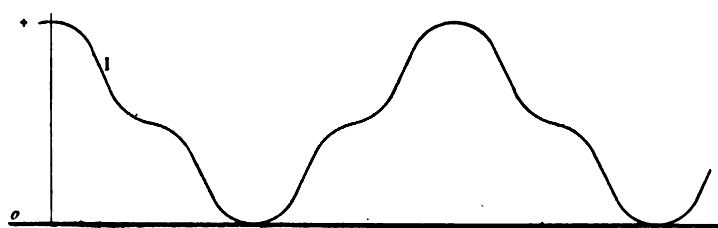


Fig. 2.

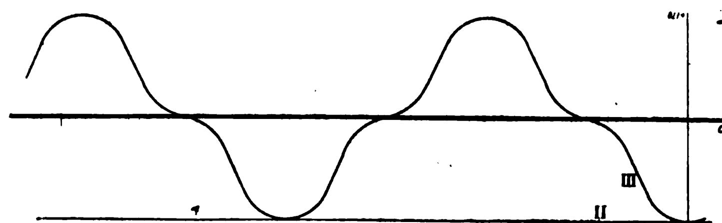


Fig. 3.

Je ne peux encore communiquer ici des résultats obtenus, mais j'ajoute que des essais sont commencés dans différentes maisons, et j'espère être bientôt en état d'en publier des données ([2]).

Alexandre Heyland.

([1]) Au sujet de cette affirmation, nous renvoyons le lecteur à l'article de M. Marius Latour, publié dans le précédent numéro. N. d. l. R.

([2]) Au moment de mettre sous presse nous recevons de M. Heyland la lettre suivante :

« J'ai le plaisir d'ajouter à la note que je vous ai expédiée que les premiers essais ont bien confirmé la théorie dont il était question. Je viens de voir marcher le 18 novembre, dans les ateliers de la « Vereinigte Elektricitäts-Actiengesellschaft, Wien », un moteur asynchrone de 12 chevaux qui était changé d'après les indications de mon article du 8 août publié dans l'*Elektrotechnische Zeitschrift*.

» Le déphasage entre le courant et la tension était complètement annulé et le courant à vide était réduit de 15 à 3 ampères. Coupé du réseau électrique et accouplé à la transmission, le moteur marchait comme génératrice. Il s'excitait lui-même, exactement comme une dynamo shunt à courant continu et était capable d'alimenter un certain nombre de lampes à incandescence. Les résultats en seront publiés prochainement. »

MÉTHODE
DE DÉTERMINATION DE LA RÉSISTANCE A LA TRACTION [1]

La détermination de la résistance de traction des véhicules en mouvement a toujours présenté un très grand intérêt pratique. Bien avant la création des chemins de fer, elle a été l'objet, sinon de mesures fréquentes, du moins de nombreuses spéculations théoriques.

Des divers procédés employés aujourd'hui pour effectuer cette détermination, le plus ancien est celui consistant dans l'emploi d'un dynamomètre. Malheureusement il ne donne pas toujours des résultats très exacts et s'il a pu être appliqué avec succès dans le cas de trains mis en mouvement par des locomotives en donnant au dynamomètre un amortissement suffisamment grand, il est presque inapplicable au cas de véhicules traînés par des chevaux.

D'autres procédés ont été imaginés et appliqués à mesure que la traction mécanique prenait plus de développement. Par exemple la résistance à la traction des trains a été déterminée en laissant un train descendre sous l'action de la pesanteur sur une pente régulière d'inclinaison connue. Comme la force due à la gravité sur le train demeure constante tandis que la résistance à la traction croît en même temps que la vitesse, il arrive nécessairement un moment où ces deux forces se contrebalancent, et où, par suite, l'accélération devenant nulle, la vitesse demeure constante; la force due à la gravité pouvant être facilement évaluée, la résistance au mouvement se trouve ainsi déterminée pour la vitesse constante que prend le train. Mais ce procédé suppose que la résistance ainsi déterminée est la même que celle qui s'exerce quand le ou les véhicules considérés se meuvent par eux-mêmes, hypothèse exacte dans certains cas mais non dans d'autres.

La résistance de frottement des volants et autres pièces tournantes est parfois évaluée en mesurant le temps que mettent ces organes à s'arrêter après avoir été lancés à une certaine vitesse. Si cette résistance est indépendante de la vitesse, la quantité d'énergie que possède primitivement l'organe en mouvement, divisée par le nombre de tours (ou mieux radians) exécutés jusqu'à l'arrêt donne le couple résistant. Il est très facile d'appliquer ce procédé aux locomotives, automobiles, bicycles, etc., mais on ne peut alors lui reprocher de n'être que très approximatif, car la résistance à la traction de ces véhicules, loin d'être constante, augmente considérablement avec la vitesse.

Je suis cependant parvenu à en faire usage en tenant compte de l'accroissement de la résistance avec la vitesse, j'en ai développé mathématiquement l'application à toute espèce de véhicule automoteur et je l'ai utilisé pratiquement au cas d'un bicycle; un rapport préliminaire sur ces essais a été publié dans le *Mechanical Engineer* du 11 novembre 1899 et une étude plus détaillée a été le sujet d'une communication faite à l'Institution of Civil Engineers, de Londres, le 8 février dernier.

De ces trois procédés (du dynamomètre, de la vitesse constante en pente et de l'amortissement du mouvement), le plus pratique est évidemment celui qui demande le moins de personnes et le moins d'expériences pour donner un résultat exact. Peu importe en effet la

[1] Rappelons à nos lecteurs que cette question a déjà été l'objet de plusieurs articles et revues publiés dans *L'Éclairage Électrique*; parmi les plus récents, mentionnons : l'article de M. Barbillion sur la Résistance des trains à la traction (t. XXIV, p. 97 et 361, 21 juillet et 8 septembre 1900); une note de M. Montel sur la Détermination de la puissance motrice exigée par une automobile (t. XXIV, p. 393, 8 septembre 1900); enfin deux notes de M. Ern. Gérard et M. Renard sur la Résistance des voitures automotrices (t. XXIV, p. 383 et 384, 8 septembre 1900).

longueur et la difficulté des calculs nécessaires pour tirer, des nombres relevés pendant les essais, le résultat que l'on a en vue, car tandis que les essais exigent pour être concluants un temps favorable, les calculs peuvent être faits dans un bureau, à l'abri des intempéries; une grande facilité d'*exécution* est donc la première condition à rechercher.

A ce point de vue le procédé d'amortissement du mouvement me paraît être le meilleur dans le cas des automobiles. Que demande-t-il en effet? Qu'après avoir lancé l'automobile à une vitesse connue sur une route en palier, l'expérimentateur supprime brusquement la force motrice et compte le nombre de secondes que met le véhicule à s'arrêter, puis qu'il

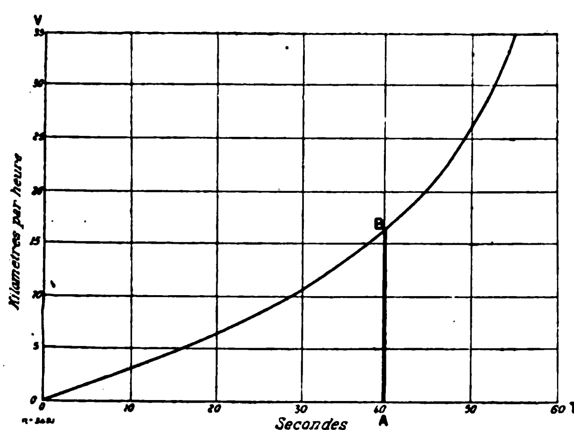


Fig. 1.

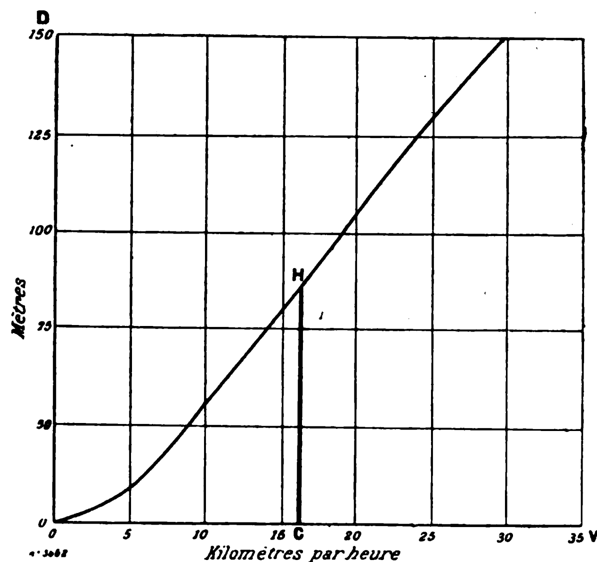


Fig. 2.

répète cette même mesure pour diverses valeurs de la vitesse initiale. Encore pourra-t-il se dispenser de cette répétition des mesures s'il peut mesurer le temps employé pour passer d'une vitesse connue à une autre moindre et également connue, par exemple pour passer de la vitesse 40 km : heure à la vitesse de 35 km : heure, de celle-ci à 30 km : heure, et ainsi de suite. A la vérité il sera bon de refaire les mesures en parcourant la même portion de route en sens inverse et de prendre la moyenne des résultats obtenus pour éliminer l'influence d'une légère inclinaison de la route.

Ces mesures, toujours peu nombreuses étant faites, voyons comment on en déduira la résistance à la traction.

Sur un papier quadrillé portons en ordonnées les vitesses et en abscisses les temps nécessaires pour passer d'une vitesse donnée au repos, nous aurons une courbe analogue à celle représentée en figure 1 [1].

Remarquons que l'aire OAB, égale à l'intégrale de vdt, représente la distance D que parcourt le véhicule avant son arrêt à partir du moment où la puissance motrice a été supprimée. Traçons une nouvelle courbe en portant cette distance en ordonnée et la vitesse à laquelle elle correspond en abscisses; nous avons la figure 2 [2].

[1] Au moment des essais il est très facile de noter la distance D en même temps que le temps t. On pourra tracer directement d'après les mesures faites, la courbe de la figure 2 et l'on vérifiera si cette courbe coïncide avec celle déduite de la figure 1 comme il vient d'être dit. On aura de la sorte un contrôle de l'exactitude des essais.

[2] Pour avoir la distance D on évaluera le nombre des tours d'une des roues ou l'on se servira d'un cyclomètre.

mandée par un bouton moleté H. Le troisième porte-balais reçoit un tampon imbibé de pétrole

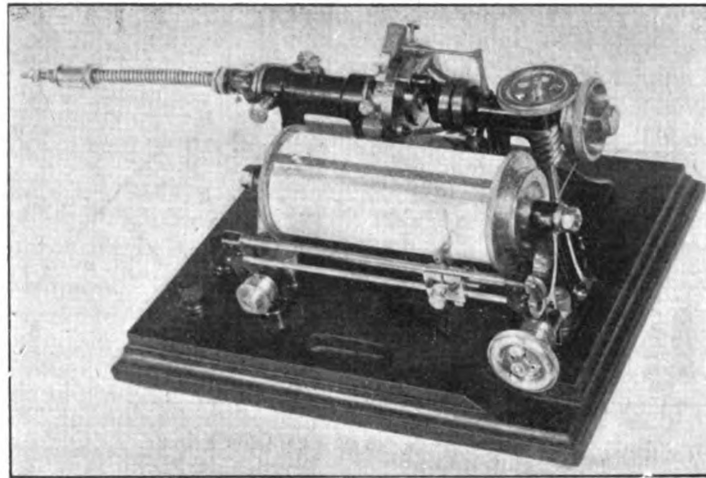


Fig. 6. — Indicateur Franke avec dispositif inscripteur.

lequel vient nettoyer constamment la surface du collecteur. Il faut bien noter que ce collecteur peut faire de 40 à 200 tours par seconde.

La figure 4 montre l'aspect extérieur de l'appareil et ne nécessite pas d'explications nouvelles.

L'appareil de Franke n'est pas absolument automatique, mais il permet cependant de tracer les courbes par points avec une grande précision. Le dispositif de principe est indiqué sur la figure 5.

Un tambour à axe horizontal T, absolument analogue à celui d'un indicateur de Watt, avec rappel à ressort, est conduit par une cordelette S, laquelle s'enroule, de l'autre côté, sur une poulie calée sur l'arbre qui porte les balais mobiles de l'appareil

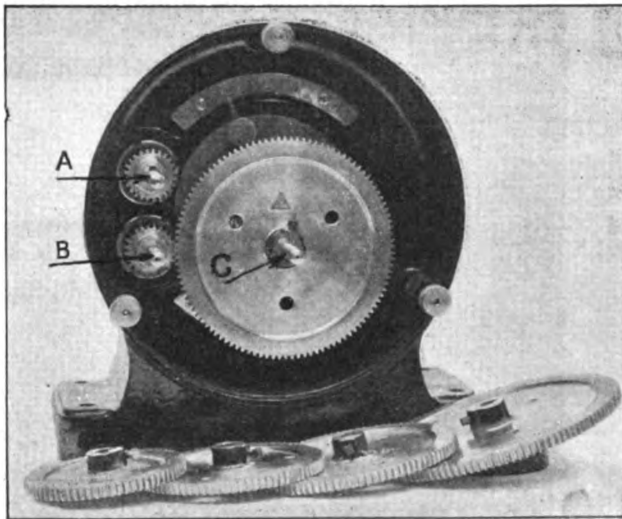


Fig. 7. — Appareil à engrenages.

à contacts. De la sorte toutes les fois que l'on donne à cet arbre un certain déplacement angulaire, le tambour inscripteur tourne d'un angle proportionnel. Ce déplacement donne les abscisses de la courbe. C'est la tache lumineuse donnée par le miroir du galvanomètre G qui indique les ordonnées. On marque avec la pointe d'un crayon le point où s'arrête cette tache lumineuse.

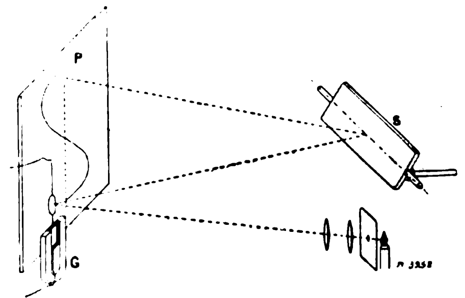


Fig. 8.

La figure 6 représente l'ensemble de l'indicateur de Franke. On voit que le porte-crayon se déplace sur des guides parallèles à l'axe du tambour inscripteur ; il est conduit par une cordelette qui est toujours sollicitée par un rappel à ressort à s'enrouler sur le petit tambour que l'on aperçoit fixé au palier de gauche du cylindre inscripteur.

Ce porte-crayon est amené vers la droite à l'aide d'une seconde cordelette qui s'enroule sur un petit tambour manœuvré à l'aide d'un bouton moleté et muni d'un dispositif de réglage de tension. Le porte-crayon est muni d'un viseur que l'on place exactement sur la tache lumineuse. En faisant manœuvrer l'appareil à contacts avec la main droite, et le porte-crayon avec la main gauche, on peut relever très rapidement une courbe. La longueur du tambour est de 150 mm, et son diamètre est tel que la largeur libre de papier correspondant à un tour complet de l'arbre de l'appareil à contacts, soit de 180 mm. 1 mm de longueur sur l'axe des abscises correspond donc à un déplacement de 2° des balais de contact.

Dans ce qui précède, nous avons supposé qu'un tour complet de l'appareil à contacts corres-

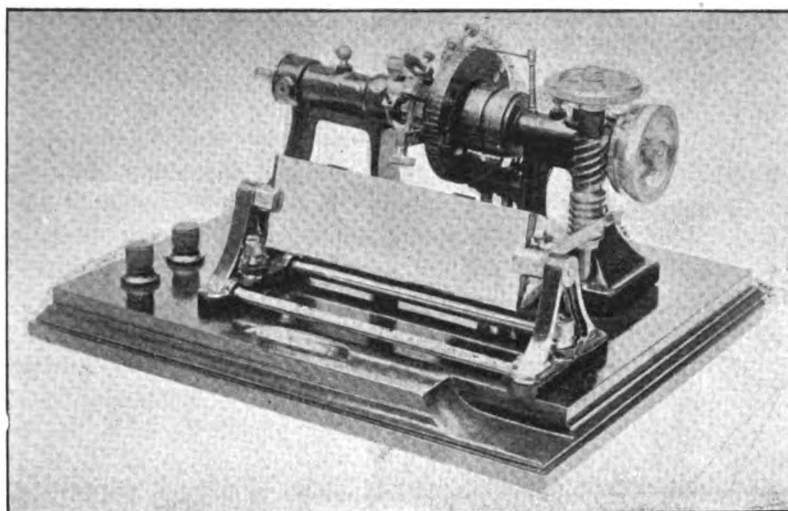


Fig. 9. — Indicateur Franke avec dispositif de projection.

pond à une période entière. Il n'est donc possible de relier cet appareil avec la machine à étudier que si elle est bi-polaire. Ce n'est jamais le cas. Il faut employer ou bien un moteur synchrone bi-polaire, ou un appareil à trains d'engrenages comme celui de la figure 7. Deux arbres A et B sont reliés à demeure par un train d'engrenages de rapport 1/2. Un troisième arbre C est placé excentriquement dans un tambour et en faisant tourner ce dernier, on peut faire prendre à cet arbre C une série de positions différentes. Sur l'arbre C, on peut venir caler un certain nombre de pignons engrenant soit avec la roue A, soit avec la roue B.

On réunit l'arbre de la machine à essayer au premier arbre de l'appareil à engrenages à l'aide d'un flexible, ou mieux, afin d'éviter toute oscillation, à l'aide d'un arbre à joints de Cardan.

On peut se servir de l'appareil pour tracer une courbe sur un écran devant un nombreux auditoire. Pour cela le tambour est remplacé par un miroir et les figures 8 et 9 font hautement saisir le dispositif employé.

M. le docteur Franke a bien voulu, et nous l'en remercions, nous communiquer un certain nombre de courbes relevées à l'aide de son appareil. Les courbes sont reproduites ici à l'échelle $\frac{1}{2}$.

La figure 10 représente les courbes de tension et de courant d'un transformateur à vide.

La figure 11 représente les courbes de tension et de courant d'un transformateur sous charge.

Les autres figures sont relatives à des charges et à des décharges de condensateurs. Bien que ces phénomènes ne soient pas périodiques l'appareil permet de tracer les courbes de leurs variations. Pour cela, on conduit l'appareil à contacts par un petit électro-moteur, par exemple, et sur l'arbre de ce dernier on dispose un commutateur qui reproduit le phénomène étudié dans le circuit correspondant, d'une manière identique à chaque tour.

La figure 12 se rapporte à la charge et à la décharge normale du condensateur ; la figure 13 à

la charge oscillante, mais à la décharge non oscillante du condensateur ; pour la figure 14 au con-

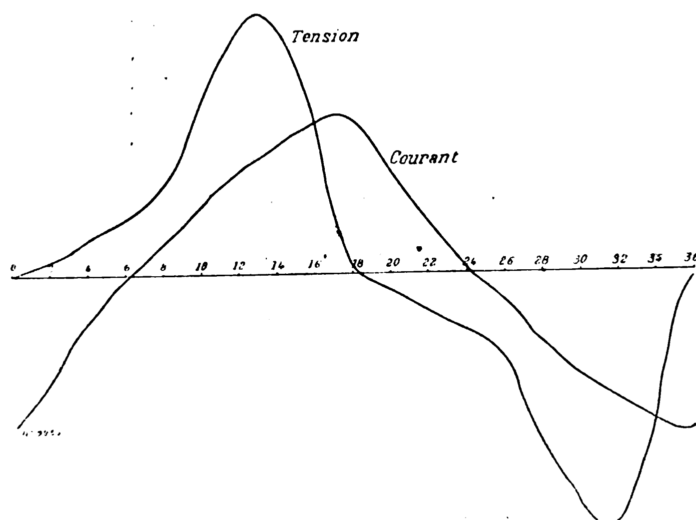


Fig. 10.

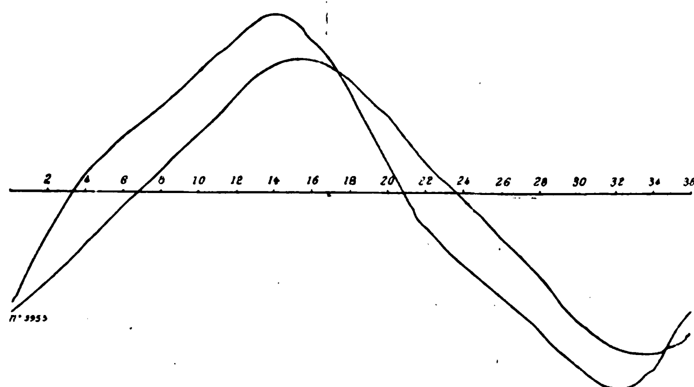


Fig. 11.



Fig. 12.

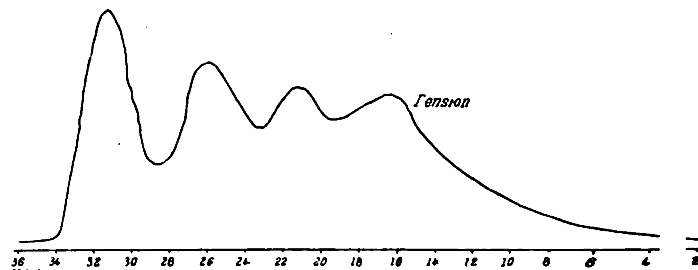


Fig. 13.

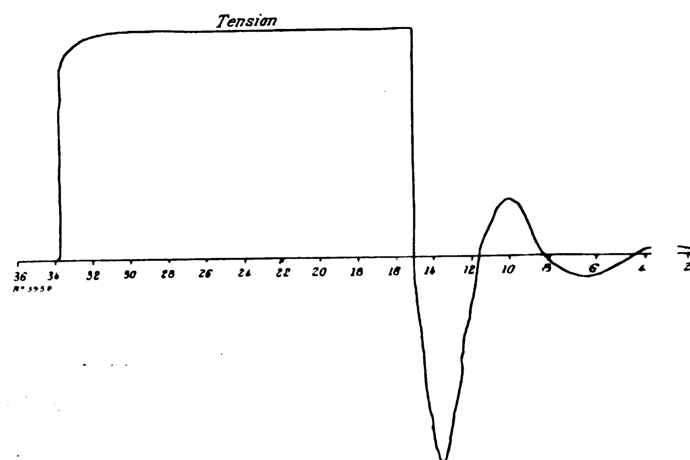


Fig. 14.

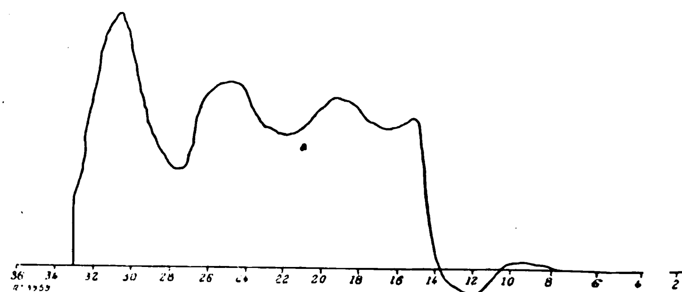


Fig. 15.

traire, c'est la décharge qui est oscillante ; la figure 15 représente une charge et une décharge oscillantes.

R.-W. James.

SUR LE

COEFFICIENT D'IRRÉGULARITÉ DES MACHINES MOTRICES [1]

L'électrotechnique moderne a pris l'habitude d'imposer des conditions très sévères aux constructeurs des machines utilisées pour la conduite des dynamos. Ces conditions sont, en particulier, relatives à la régularité, et à un certain minimum de l'irrégularité sans lequel, pense-t-on aujourd'hui, on ne saurait assurer une marche irréprochable. Si tant est qu'en général, les machines actuelles satisfont à ces exigences, dans nombre de cas, le fonctionnement des dynamos amène à conclure que l'irrégularité des machines motrices a une influence des plus perturbatrices sur la marche de toute l'installation. L'électricien est donc porté à soutenir que le moteur n'a pas la régularité prévue, tandis que le mécanicien cherche à prouver par le calcul que sa machine satisfait complètement aux conditions imposées. Il y a donc antagonisme des deux parties d'où, fort souvent, des discussions. Aussi, depuis longtemps, sent-on le besoin de déterminer le coefficient d'irrégularité par un dispositif expérimental simple. Je me propose d'indiquer comment on peut arriver à cette détermination, et dans ce but, je diviserai le sujet traité en trois parties :

1° L'irrégularité et les phénomènes connexes dans les moteurs ;

2° La critique des méthodes de détermination du coefficient d'irrégularité ;

3° Quelques considérations sur l'importance du coefficient d'irrégularité pour l'électricien.

I. — Toute machine motrice, dans laquelle un mouvement de va-et-vient est transformé en mouvement de rotation, possède un couple variable par suite de la variation de l'effort tangentiel. Par conséquent, même si le nombre de tours pendant un certain temps demeure sensiblement constant, la vitesse angulaire présente plusieurs valeurs différentes pendant un tour, et ces valeurs se reproduisent généralement d'une manière périodique à chaque tour. Le mouvement de rotation irrégulier peut donc être considéré comme résultant de la superposition d'un mouvement de rotation uniforme et d'un mouvement oscillatoire dont la période correspond à la durée d'un tour ou d'une fraction de tour. Comme terme de mesure de la grandeur de l'irrégularité, on a créé la notion de coefficient d'irrégularité défini par le rapport entre la différence des vitesses maxima et minima et la vitesse moyenne.

Cette définition n'a rigoureusement de valeur que pour un tour, car si le nombre de tours varie un peu, la vitesse moyenne et en même temps la valeur du coefficient d'irrégularité se modifient. Celui qui a cherché à déterminer, avec la plus grande exactitude possible, la vitesse moyenne d'une machine motrice en évitant l'emploi de tachymètres ou de compte-tours inexacts, a trouvé que toute machine qui possède un coefficient d'irrégularité présente des variations continuelles dans son nombre de tours, même sous une charge absolument constante. Cette constatation s'exécute sans difficulté en mesurant, par la méthode de compensation, la tension d'une dynamo à courant continu, directement accouplée avec la machine étudiée et excitée par une source séparée. On constate alors que la tension, proportionnelle au nombre de tours, ne conserve pas un seul moment une valeur égale, mais augmente et diminue à chaque instant. Ces variations de vitesse, dues au fait que la durée d'un tour n'est pas constante, ont nécessairement une période beaucoup plus longue que les irrégularités par tour ; elles se manifestent tantôt avec une allure périodique, tantôt tout à fait irrégulièrement et elles sont généralement moins accentuées avec des moteurs à vapeur qu'avec des moteurs à gaz ; leur valeur est comprise entre quelques millièmes et quelques centièmes de la vitesse moyenne. Ces oscillations se font généralement sentir sans que rien soit modifié au régulateur ou au reste de la machine. On doit, à mon sens, chercher la cause de ce phénomène en partie dans le coefficient d'irrégularité lui-même ; c'est en effet, en raison de cette irrégularité par tour que les parties qui peuvent prendre un mouvement pendulaire, c'est-à-dire le volant avec son arbre susceptible d'une certaine torsion ainsi que ses rayons, sont mises en oscillation par

[1] Conférence faite au 9e congrès annuel de la Société des Electriciens à Dresde.

résonance et comme, en général, les oscillations propres de ces pièces ont des périodes différentes, un mouvement résultant prend naissance. On peut cependant aussi faire remonter en partie le phénomène à des chocs dans la machine, de même qu'à un afflux inégal d'énergie pendant les différents tours. Si les variations de la durée d'un tour sont, en général, assez faibles pour n'entraîner aucun inconvénient dans beaucoup d'applications, elles ne sont pourtant pas négligeables, comme je le montrerai plus loin, aux yeux de l'ingénieur qui s'occupe des courants alternatifs. Dans la détermination du coefficient d'irrégularité, leur influence est perturbatrice au plus haut point. Il nous faut donc toujours compter avec une vitesse composée, dont la courbe a à peu près l'allure de la figure 1 ; sur cette courbe, les petites ondulations représentent les différentes vitesses angulaires par tour, et les plus grandes, la variation de la durée d'un tour.

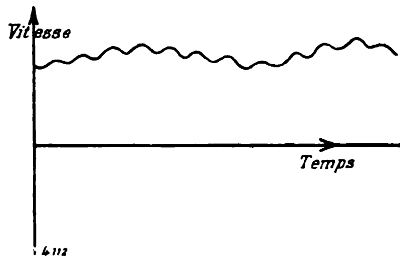


Fig. 1.

Il y a quelques années encore, un coefficient d'irrégularité de 1/100 était considéré comme très petit, aujourd'hui on va jusqu'à 1/300 et même jusqu'à 1/500. Je reviendrai, à la fin de mon travail, sur la question de savoir s'il convient de descendre jusqu'à des valeurs aussi basses, d'autant plus que souvent les variations de la durée d'un tour sont plus grandes que le coefficient d'irrégularité lui-même. La détermination de ce dernier est d'autant plus difficile qu'il est plus petit, comme le montre l'exemple suivant. Si l'on a à mesurer un coefficient d'irrégularité de 1/200, à 10 p. 100 près, cela veut dire que la 5/1000 partie de la vitesse moyenne doit être déterminée à 10 p. 100 près, ou encore que l'on doit pouvoir mesurer exactement la 5/10000 partie de la vitesse moyenne. C'est là une mesure de précision qui ne peut s'effectuer par des moyens simples.

Eh bien, suivant le point auquel on rapporte le coefficient d'irrégularité, l'arbre, la jante du volant ou la dynamo, ce nombre peut prendre différentes valeurs par suite de l'interposition de pièces élastiques. C'est le coefficient d'irrégularité à la dynamo qui nous intéresse, mais comme nous ne pouvons le mesurer à la circonférence extérieure de l'armature, c'est-à-dire dans la région où se développe la force électromotrice, on est réduit à monter l'appareil sur l'arbre. De plus, il faut proscrire toute liaison élastique ou glissante. Un appareil destiné à la détermination du coefficient d'irrégularité doit, d'après cela, remplir les conditions suivantes :

L'appareil doit être très sensible et très exact, il ne doit renfermer aucun organe et aucune liaison élastique ou glissante, il doit permettre d'éliminer les variations de la durée d'un tour.

II. — Nous allons maintenant étudier à ces différents points de vue, les différentes méthodes que, pour plus de clarté, j'ai divisées en trois classes :

1° Détermination du coefficient d'irrégularité d'après les chemins parcourus en des temps égaux ou d'après les temps inégaux pendant lesquels sont parcourus des chemins égaux ;

2° Détermination du coefficient d'irrégularité d'après la courbe qui représente l'écart entre le mouvement irrégulier et un mouvement régulier se produisant pendant le même temps ;

3° Détermination du coefficient d'irrégularité par des mesures directes de vitesse.

Il ne m'est naturellement pas possible de passer en revue même brièvement toutes les recherches effectuées dans cet ordre d'idées ; il vaut mieux examiner quelques procédés types qui se retrouvent toujours à quelques variantes près.

1. Les méthodes les plus anciennes et en même temps les plus employées jusqu'ici, appartiennent à la première classe. Elles découlent de la méthode originale de Radinger qui consiste à faire tracer par un diapason vibrant régulièrement des courbes ondulées sur la surface d'un cylindre tournant d'un mouvement irrégulier. Parfois on a fait ce tracé sur la jante même du volant de la machine motrice préalablement recouverte de noir de fumée. On a aussi proposé [1]

---

[1] Cf. GRAHAU, *Stahl und Eisen*, 1899.

de lier un cylindre inscripteur A au mouvement de la machine à étudier, qui elle-même commandait au moyen d'une vis le déplacement du diapason B parallèlement à l'axe (fig. 2).

La valeur du coefficient d'irrégularité pouvait être déduite des écarts entre les différentes ondulations. Avant chaque inscription de diagramme, il faut arrêter la machine pour préparer la surface sur laquelle se fera l'inscription ; de plus la mesure des ondulations ne peut se faire avec grande précision et l'élimination des variations de durée d'un tour est difficile ; on conçoit donc que cette méthode n'ait rencontré aucune faveur dans la pratique.

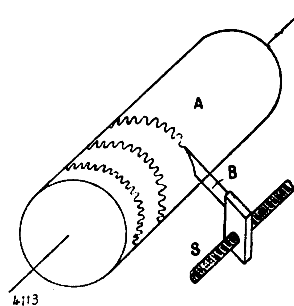


Fig. 2.

M. le docteur Göpel [1] a modifié le procédé de Radinger en réduisant autant que possible ses imperfections et il a indiqué un procédé mathématique ingénieux pour éliminer en partie les erreurs provenant des variations de durée d'un tour. La modification consiste à remplacer le cylindre par un disque monté avec interposition d'un moyeu en bois sur l'arbre de la machine à essayer. L'inscription étant faite par un diapason que l'on déplaçait à la main du centre à la périphérie.

Quoique ce procédé ait donné des résultats relativement bons, il ne faut pas perdre de vue que les machines étudiées avaient de grands coefficients d'irrégularité, de l'ordre de 1/80. Si on descend au-dessous de 1/100, la méthode ne va plus parce que la grandeur de la distance entre les ondulations du diagramme est si petite qu'il n'y a plus de précision possible, surtout étant donnée l'influence pertubatrice des phénomènes annexes.

Dans cette première classe de méthodes, on peut ranger encore celle qui consiste à se rendre compte des différences de vitesse angulaire par la hauteur du son que rend un corps vibrant, dont le mouvement est entretenu par une roue dentée tournant d'une façon non uniforme.

Les variations de hauteur du son rendu par le diapason indiquent que des chemins égaux — c'est-à-dire l'espace entre deux dents de la roue — sont parcourus en des temps inégaux. Le procédé est à rejeter, car une oreille même exercée ne peut ainsi juger que d'assez grands coefficients d'irrégularité.

2. Nous arrivons à la deuxième classe de procédés : ceux qui permettent de faire une mesure d'après la différence de marche de deux mobiles animés, l'un d'une vitesse non uniforme, l'autre d'une vitesse uniforme. Il ne suffit nullement de déterminer les élongations ou si l'on veut les amplitudes des oscillations de la machine en mouvement pendulaire par rapport aux corps tournant d'un mouvement uniforme. En effet dès que l'amplitude maxima est atteinte, la machine est en repos par rapport aux corps animés d'une vitesse uniforme, elle se meut donc avec une vitesse moyenne. Mais nous voulons déterminer la vitesse maxima et la vitesse minima de ce mouvement pendulaire et nous ne pouvons y parvenir qu'en enregistrant la totalité du mouvement irrégulier. Les appareils destinés à enregistrer les amplitudes d'oscillations, qui sont d'ailleurs sujets à des erreurs du fait de la variation de la durée d'un tour, ne peuvent jamais servir à la mesure du coefficient d'irrégularité, et n'ont pour l'électricien qu'un intérêt de second ordre. Ainsi, par exemple, l'appareil de Aichele [2] qui permet d'enregistrer les amplitudes du mouvement irrégulier par un crayon qui trace des arcs de cercle sur un volant tournant d'un mouvement uniforme ne permet aucunement de faire une mesure exacte, car les variations de la durée d'un tour modifient les amplitudes d'une manière dont on ne peut se rendre un compte exact. C'est autre chose pour le procédé stroboscopique de Görges [2] : la masse tournant d'un mouvement uniforme est remplacée par des pulsations lumineuses régulières correspondant à la vitesse moyenne de la machine à étudier ; chaque pulsation alors accuse une position déterminée de la machine de sorte qu'on peut observer nettement le mouvement pendulaire. Ce procédé permet d'observer, d'après

---

[1] *Zeitschrift des Vereines Deutscher Ingenieure*, 1900.

[2] *Elektrotechnische Zeitschrift*, 1900.

les différentes amplitudes, l'effet résultant de l'irrégularité et des variations de la durée d'un tour, mais ne peut jamais servir à déterminer le coefficient d'irrégularité lui-même.

Des appareils assez compliqués sont nécessaires pour le tracé des courbes complètes de mouvements. On ne trouve sur eux que peu de renseignements dans les publications, parce que la plupart des essais dans cet ordre d'idées n'ont pas réussi ; toutefois les brevets (DRP) 50 569 — 81 572 — 84 817 sont relatifs à des procédés de ce genre et ont entre eux une certaine analogie.

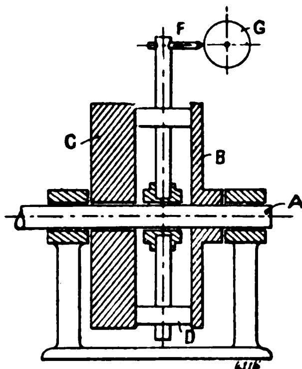


Fig. 3.

Je vais décrire l'appareil de la maison Schaefer et Budenberg (D.RP. 81 572).

Un arbre A (fig. 3) sur lequel est fixé un disque B est accouplé rigidement à la machine motrice. Un volant C est monté fou sur l'arbre A. Entre le disque et le volant est disposé un équipage satellite D, dont les pignons tournent antour d'un arbre vertical E. A l'extrémité de l'arbre est disposé un crayon F qui doit inscrire la courbe sur un tambour animé d'un mouvement de rotation uniforme. Si l'on suppose que l'arbre E est d'abord retenu par des ressorts de manière à conserver une certaine position d'équilibre, le mouvement du disque B sera alors communiqué au volant par l'équipage satellite D et ce volant prendra au bout de quelque temps une vitesse moyenne.

Toute différence entre la vitesse de B et celle de C aura pour résultat l'entraînement dans un sens ou dans l'autre des pignons D, donc aussi de leur axe de rotation, le crayon s'écarte et trace une courbe sur le cylindre G.

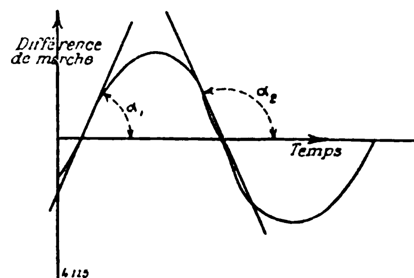


Fig. 4.

On obtient ainsi une courbe ayant l'allure de celle de la figure 4, qui ne représente pas autre chose que la différence entre les deux mouvements.

C'est par conséquent une courbe de mouvement dont le coefficient angulaire de la tangente en chaque point donne la vitesse. Pour connaître la vitesse, à chaque instant, il faudrait donc déduire, par différentiation, une courbe de vitesse, de la courbe de mouvement, ce qui est un procédé très incommode. Comme pour notre étude il nous suffit de connaître les vitesses maxima et minima, nous n'avons qu'à tracer les tangentes aux points pour lesquels elles se rapprochent le plus de la verticale. Le coefficient d'irrégularité est alors :

$$U = \frac{c\,(\operatorname{tg} \alpha_1 - \operatorname{tg} \alpha_2)}{2\pi r n}$$

n, étant le nombre de tours par seconde du tambour. Il y a bien quelques objections à faire sur le fonctionnement de l'appareil, car les roues satellites n'empêchent pas les glissements et cela amène des erreurs dont il est difficile de déterminer l'ordre de grandeur.

D'ailleurs l'appareil n'est pas assez sensible pour mesurer le coefficient d'irrégularité, aussi est-il abandonné.

La figure 5 représente un appareil fondé sur le principe du dynamomètre de transmission de Hefner von Alteneck. La machine étudiée A est reliée par une corde S à un volant tournant régulièrement.

La corde passe sur les galets fixes R_1 R_2 R_3 et R_4 et les galets mobiles C, D, ces derniers étant reliés entre eux par une tige E. Lorsqu'une différence de vitesse se produit entre A et B — par exemple que A prend une avance sur B — le brin A R_1 C augmente de tension, et le brin A R_4 D se relâche d'autant ; il se produit par suite un déplacement des galets C et D dans le sens C D, déplacement qu'on enregistre à l'aide d'un crayon F mobile sur un tambour tournant en dessous. Le déplacement des galets C B représente la demi-différence de marche entre A et B.

Cet appareil qui peut être réalisé par des moyens simples a été longtemps utilisé par moi pour des recherches sur la marche du moteur à gaz. On ne doit pas l'employer pour les mesures parce qu'il renferme une transmission élastique qui introduit naturellement des erreurs non mesurables.

Dans l'été de 1900, j'ai pu connaître, par l'obligeance de M. le Dr Göpel, un appareil construit par lui au Reichanstalt; cet appareil appartient à la seconde classe et permet d'une manière tout à fait simple l'inscription d'un mouvement irrégulier. En voici à peu près le principe :

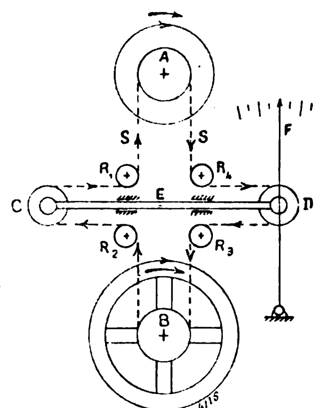


Fig. 5.

Un arbre vertical et un disque fixé horizontalement sur cet arbre sont conduits d'un mouvement uniforme par la machine à étudier. Au-dessus de ce disque se trouve un lourd volant maintenu par trois billes, de sorte que ce volant puisse prendre peu à peu un mouvement absolument régulier. La surface supérieure du volant est munie d'une feuille de papier sur laquelle vient frotter un crayon qui participe au mouvement irrégulier de l'axe vertical, et qu'on fait mouvoir de la périphérie au centre. Le crayon n'inscrit donc que la différence entre le mouvement irrégulier de l'arbre vertical et le mouvement régulier du volant, et cela sous la forme d'une courbe dont l'axe des abscisses est en général un rayon du disque. Le mouvement est communiqué à l'axe vertical par la machine motrice au moyen d'une cordelette. Quelle que soit la simplicité de ce dispositif, il n'exclut pas les glissements, et en outre, le mouvement radial du crayon fait que les amplitudes des ondulations de la courbe diminuent quand on se rapproche du centre. Ce procédé ne peut donc pas être plus que les autres considéré comme irréprochable ni comme tant soit peu exact.

Le dispositif de M. le Dr Göpel m'a conduit à la construction de l'appareil représenté schématiquement sur la figure 6. Un arbre horizontal A est conduit par la machine à essayer : un lourd volant cylindrique B, mobile à frottement doux autour de A sur des roulements à billes, l'amène d'abord à la vitesse moyenne en le faisant entraîner par un doigt C qu'il est facile d'effacer pour abandonner le volant à lui-même. Un crayon D peut se déplacer de droite à gauche, parallèlement à l'axe du tambour, le long d'une corde E, rigidement fixée à l'arbre A, et qui participe par conséquent à son mouvement irrégulier. On embraye au moment convenable un petit train d'engrenages disposé à droite, lequel commande l'enroulement d'une cordelette F sur un tambour T et, par suite, le mouvement du crayon. Cet appareil est relié à la machine par un accouplement rigide facile à débrayer, et de la sorte on se met à l'abri des perturbations élastiques autant que faire se peut. Comme l'inscription se fait sur une surface cylindrique, les amplitudes sont en général égales. Cet appareil a servi aux essais les plus divers, et on a pu constater qu'il n'y avait rien à reprocher à son fonctionnement, mais que sa sensibilité était trop faible pour les petits coefficients d'irrégularité. Pour accroître cette sensibilité, il suffisait d'accroître la vitesse du tambour; ce résultat peut s'obtenir par l'augmentation du diamètre du tambour ou par l'interposition d'un train d'engrenages entre le tambour et la machine. Les deux moyens ont été essayés. Dans le premiers cas, on arriva à des dimensions d'encombrement telles que l'appareil n'est plus maniable, et la force centrifuge vient déformer les courbes, sans qu'on puisse prévenir cet inconvénient. Dans le second cas, il faut tenir compte de l'irrégularité des dents sans parler du jeu des engrenages, lequel peut d'ailleurs être atténué par l'adjonction d'un petit frein sur l'arbre A. Pour toutes ces raisons, ce mode de construction n'a pas non plus été poursuivi.

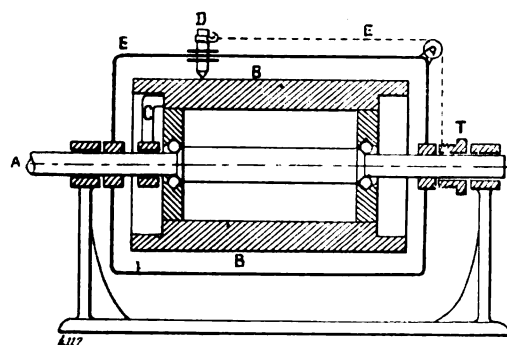


Fig. 6.

Pour remédier aux inconvénients que nous venons de signaler, on a imaginé le dispositif de la figure 7 : l'inscription est faite par un rayon lumineux. Un disque A percé de fenêtres est relié à la machine qui tourne d'un mouvement irrégulier. Un système de miroir B tourne d'un mouvement uniforme, et de telle sorte que, après que le disque A s'est déplacé d'un angle correspondant à l'écartement de deux fenêtres, un second miroir est venu se mettre à la place du premier. Le rayon lumineux, issu d'une source C, traverse un diaphragme D et une fenêtre du disque A, puis vient tomber sur l'un des miroirs B et est réfléchi sur un écran S. Quand il se produit une différence de marche entre le disque et le miroir, le rayon lumineux décrit un mouvement de droite à gauche. Si en même temps on entraîne l'écran dans la direction de la flèche, on peut fixer par la photographie la courbe du déplacement de la tache lumineuse. Ce procédé n'a pas donné de résultats remarquables, tant à cause de sa trop faible sensibilité que de sa complication.

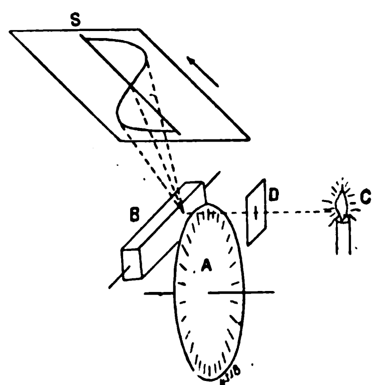


Fig. 7.

Il ne nous semble pas possible, étant donné les recherches déjà exécutées, qu'on puisse améliorer les appareils de cette seconde classe. Il sont très instructifs, mais ne valent rien pour des mesures précises.

3. Il ne nous reste plus qu'à parler des procédés de la classe 3 qui permettent de trouver le coefficient d'irrégularité par des déterminations des vitesses. Les appareils qui utilisent l'action de la force centrifuge, par exemple les tachygraphes, ne doivent pas être employés à cause de leur inertie et de leur manque de précision. Je les laisse donc dès maintenant de côté. Nous pouvons déterminer les vitesses avec une précision infiniment plus grande par le procédé représenté sur la figure 8. Une machine à courant continu A est rigidement liée à la machine à étudier, et sa force électromotrice, à excitation constante, est à chaque instant proportionnelle à la vitesse. On compense la tension produite par la dynamo à l'aide d'une force électromotrice opposée et égale à la force électromotrice moyenne, donc aussi à la vitesse moyenne de cette dynamo ; le galvanomètre G ne dévie donc que sous l'influence des courants qui proviennent d'une différence entre les deux tensions. Ce galvanomètre oscille par suite en suivant les variations de la vitesse non uniforme. C'est de cette manière qu'on trace, à l'École supérieure technique de Stuttgard, la courbe photographique du coefficient d'irrégularité d'un galvanomètre. Mais comme chaque galvanomètre présente des oscillations propres, la courbe relevée n'est jamais irréprochable, car elle représente un mouvement résultant. Si l'on veut se débarrasser de l'influence des oscillations propres du galvanomètre en employant un oscillographe ou le rayon cathodique d'un tube de Braun, on s'aperçoit malheureusement que la méthode présente une sensibilité beaucoup trop faible. Il restait encore une solution : remplacer le galvanomètre par un instrument à courants alternatifs. On peut, en effet, se représenter la tension irrégulière et un courant continu comme la résultante de la superposition d'une tension absolument régulière et d'une tension alternative. Si on compense, comme cela est indiqué dans la figure 8, la tension constante par une tension inverse, on peut mesurer le courant alternatif à l'aide d'un appareil spécial et obtenir directement l'irrégularité. Il faut toutefois noter ce qui suit : toute machine à courant continu donne une tension irrégulière, même si elle tourne régulièrement : les irrégularités proviennent, d'une part, de la mise en court-circuit des bobines, lorsque deux lames du collecteur passent sous le même balai, et, d'autre part, des irrégularités du bobinage et du champ. L'appareil à courants alternatifs est toujours sensible à ces irrégularités qui ont leur origine dans le principe même de la machine à courant continu. On pourrait toutefois en tenir compte en faisant un essai préalable à vitesse constante avec la dynamo elle-même, ou en employant une machine à courant continu unipolaire sans collecteur. Cependant la méthode n'est

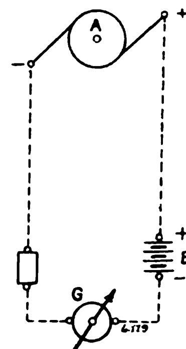


Fig. 8.

encore pas suffisante, à cause du manque de sensibilité des appareils à courants alternatifs.

Il faut donc s'en tenir aux machines à courant continu et corriger d'une autre manière les ondulations perturbatrices propres à la machine.

A l'assemblée générale de la Société des Electriciens Allemands (1), j'ai indiqué un procédé qui présente une très grande sensibilité, et permet d'éviter les erreurs dues aux ondulations de la machine ; il consiste à prendre à chaque instant la force électromotrice à l'aide d'un appareil à tracer les courbes, utilisant le principe du contact instantané de Joubert. Le procédé est schématisé dans la figure 9 qui ne se distingue de la figure 8 que parce que l'indicateur (2) J est inséré dans le circuit. Cet indicateur, relié à l'arbre de la machine à essayer, ferme le circuit d'un galvanomètre, une fois par tour et pour une position bien déterminée de la manivelle de la machine motrice; le galvanomètre prend une élongation proportionnelle à la valeur instantanée de la tension et par suite de la vitesse au moment considéré. Si on modifie la place des balais, le contact se produit à un autre moment, correspondant à une autre valeur de la vitesse angulaire. On peut donc tracer par points la courbe des vitesses instantanées. Ce procédé, complété par l'emploi de la compensation, donnerait une très grande précision, si les variations de la durée d'un tour ne venaient pas encore exercer leur influence perturbatrice. En effet, les vitesses instantanées sont variables à chaque tour, et en fait, la tension n'est pas constante, mais au contraire, continuellement variable. Pour corriger ce défaut, on a préconisé le montage de la figure 10, grâce auquel on peut tenir compte des variations de la durée d'un tour. Le circuit de la dynamo A est fermé par deux résistances élevées W_1 et W_2, aux extrémités desquelles on crée deux circuits dérivés. Au moment de la fermeture du circuit par l'indicateur J, on compense, en se réglant par le galvanomètre G, la contre-tension E, par la chute de tension due à W_1; la chute de tension due à W_2 compense de même la tension E_2 et on règle à l'aide du galvanomètre G_2 qui ne doit pas avoir une trop faible période d'oscillation et qui doit être apériodique. Le galvanomètre G_2 n'agit par suite que lorsque le nombre de tours, ou pour mieux dire, la durée d'un tour varie. Si on s'astreint à ne faire de lecture au circuit I que lorsque le galvanomètre du circuit II est au 0, toutes les observations se trouvent faites au même instant de la rotation. Il faut deux expérimentateurs et il est évidemment nécessaire d'éliminer, par un essai préalable, les irrégularités provenant de la construction de la dynamo. Ce procédé est vraisemblablement le seul qui puisse convenir, même pour des coefficients d'irrégularités faibles, de l'ordre de 1/200, et être susceptible de précision.

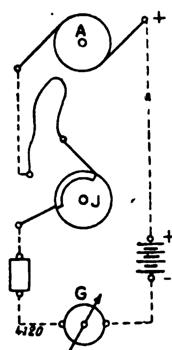


Fig. 9.

La figure 11 représente une courbe de vitesse relevée par ce procédé. Elle se rapporte à un coefficient d'irrégularité artificiel d'environ 1/130, obtenu en fixant dissymétriquement un poids sur la poutre d'un électromoteur qui commandait la dynamo. Sur cette courbe, on pourrait marquer les points de repère suivants : D, poids horizontal, descendant; 90°, poids en haut; 180°, poids horizontal, ascendant ; 270°, poids en bas.

Pour « poids en haut », on reconnaît nettement l'irrégularité causée par un choc qui se produisait à chaque tour contre le palier dans le sens de l'axe. La plus grande vitesse ne s'observe pas pour la position la plus basse du poids, mais un peu plus tard seulement, c'est là une particularité propre à l'électromoteur et due à la force contre-électromotrice et à la self-induction.

Cette courbe est le résultat de quatre séries d'essais qui ont donné beaucoup de mal et se sont poursuivies pendant près d'une semaine.

On peut donc se rendre compte que cette méthode ne peut encore convenir dans la pratique ; elle exige une grande patience de la part de l'expérimentateur.

Les méthodes de la classe 3 ne rendent donc pas ce qu'on était en droit d'attendre. Mes

(1) *Elektrotechnische Zeitschrift*, 1899.

(2) Voir l'article précédent pour la description de cet indicateur.

recherches m'autorisent à penser que la mesure des coefficients d'irrégularité inférieurs au 1/100 constitue une impossibilité dans l'état actuel de notre outillage technique.

Si donc toutes les études faites en vue de découvrir un moyen pratique de déterminer le coefficient d'irrégularité n'ont été suivies que d'insuccès, je serais heureux qu'elles aient, au moins, comme résultat, de détourner les autres d'essais difficiles, coûteux et ne présentant pas de chances de réussite.

Nous voyons donc que l'électricien et le mécanicien n'ont pas encore enterré la hache de la

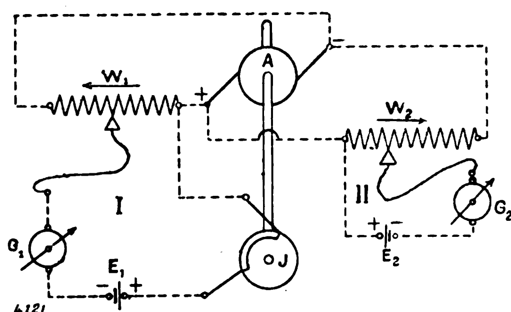


Fig. 10.

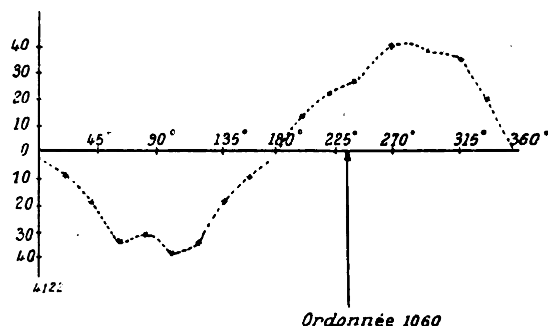


Fig. 11.

guerre, car la question de la détermination du coefficient d'irrégularité reste non résolue. Peut-être sommes-nous en état d'aplanir la difficulté d'une autre manière.

III. — Si nous nous demandons qu'elle est l'importance du coefficient d'irrégularité pour l'électricien, nous serons conduits, à deux points de vue, à limiter le coefficient d'irrégularité à un certain minimum ; d'abord il faut diminuer les variations ou mieux les pulsations de la lumière dans les installations d'éclairage, et, en second lieu, permettre une bonne marche en parallèle des machines à courants alternatifs.

En ce qui concerne la première considération, je me reporterai à une communication de M. le professeur Triese [1] à l'Assemblée générale de la société des Ingénieurs Allemands, dans laquelle il expose que les pulsations de la lumière varient suivant la sixième puissance de la tension et que par suite, l'influence du coefficient d'irrégularité est, dans certains cas, très sensible. Triese a remarqué que la sensibilité des personnes, par rapport aux variations de lumière, augmente avec leur intelligence ; et aussi, ajouterai-je, avec leurs connaissances professionnelles, de même qu'avec leur nervosité qui, malheureusement, est le plus souvent liée à l'intelligence. D'après ses expériences, Triese conclut qu'un coefficient de 1/200 est très bon et que celui de 1/65 n'est déjà plus supportable.

L'exemple des moteurs à gaz prouve que les coefficients d'irrégularité de 1/80 à 1/120 conviennent bien pour l'éclairage, et ne sont jamais trouvés désagréables. Pour cette raison, il serait, en toutes circonstances, inutile de descendre au-dessous de 1/200 ; on peut donc fixer cette valeur comme la plus petite admissible pour l'éclairage, alors que la plupart du temps 1/100 suffit déjà.

L'importance du coefficient d'irrégularité est toute autre, en ce qui concerne la marche en parallèle des alternateurs, pour lesquels l'apparition des phénomènes pendulaires est directement liée au coefficient d'irrégularité. Je renverrai à ce sujet aux travaux anciens de Boucherot [2], Blondel [3], Hutin et Leblanc [4], et plus récemment de Kapp [5], Benischke [6] et Görges [7].

(1) *Zeitschrift des Vereines Deutscher Ingenieure*, 1899, n° 39.
(2) *Lumière Électrique*, t. XLV.
(3) *Lumière Électrique*, t. XLV et XLVI.
(4) *Lumière Électrique*, t. XLVI.
(5) *Elektrotechnische Zeitschrift*, 1899, n° 7.
(6) *Elektrotechnische Zeitschrift*, 1899, n° 50.
(7) *Elektrotechnische Zeitschrift*, 1900, n° 10.

Au point de vue de l'accouplement des alternateurs, nous avons à distinguer les deux cas suivants :

1° Une machine possédant de l'irrégularité travaille en parallèle avec une machine sans irrégularité (par exemple sur un réseau à potentiel constant).

2° Deux machines possédant de l'irrégularité marchent en parallèle l'une avec l'autre.

Dans les deux cas, on observe des phénomènes pendulaires, c'est-à-dire la naissance de courants de compensation qui augmentent d'abord pour diminuer ensuite et ces phénomènes, dans certaines circonstances, amènent un décrochage complet de la machine. Le coefficient d'irréguliarté de la machine motrice est la cause des oscillations que présente également l'alternateur de part et d'autre de sa position moyenne de mouvement et qui ont la période de l'irrégularité. De ce fait proviennent, entre les courbes de tension des machines, des différences de phase qui doivent être regardées comme la cause des courants de compensation. Nous avons donc, avant tout, à tenir compte des phénomènes d'interférence qui proviennent des oscillations qui ont pris naissance. Mais si en outre l'une des machines possède la propriété de revenir à sa position moyenne de mouvement lorsqu'elle s'en est écartée, c'est-à-dire si elle présente en outre des oscillations propres, ces dernières peuvent se trouver renforcées, dans certaines circonstances, par les variations qui se produisent fatalement dans l'irrégularité. Nous avons alors affaire à des phénomènes de résonance ; ce sont la plupart du temps les plus dangereux. La possibilité des oscillations propres des alternateurs résulte du moment d'inertie de la partie tournante et des forces d'attraction. Celui-là dépend de la construction seule de la machine, les forces d'attraction proviennent de l'action alternative du champ magnétique et de l'induit l'un sur l'autre, et leur grandeur est par suite fonction de l'excitation et de la charge. On a déjà cherché différents moyens de calculer *a priori* les oscillations propres des machines (voir les travaux cités plus haut), et en particulier le professeur Görges a donné une méthode tout à fait complète. Dans tous ces travaux, on n'a malheureusement pas tenu compte des parties de la machine motrice en mouvement alternatif, lesquelles sont évidemment reliées aux autres organes en mouvement et participent à leurs oscillations. Comme le moment d'inertie de la machine ne peut se calculer à cause de cela, et que, d'autre part, on ne peut tenir compte de l'élasticité du gaz ou de la vapeur contenus dans le cylindre de la machine motrice, je me rallie à l'avis de M. le Dr Benischke, d'après lequel le calcul de la période d'oscillation d'un alternateur est une impossibilité. Les phénomènes de résonance dépendent beaucoup moins de la grandeur de l'irrégularité que de la concordance entre les périodes de l'irrégularité et des oscillations propres de la machine, et l'expérience a montré que des machines, aussi bien à faible qu'à grand coefficient d'irrégularité, se couplent très bien en parallèle. Une augmentation du moment d'inertie ne constitue un remède contre la résonance que quand la période de l'oscillation propre se trouve avantageusement modifiée. Très souvent, c'est l'inverse qui convient; une diminution du moment d'inertie donne la solution, à moins qu'on ne veuille employer d'autres moyens : bobines de self-induction, amortisseur Le Blanc, etc.

L'expérience a montré, en outre, qu'il est extrêmement difficile de mettre en parallèle des alternateurs directement couplés avec des moteurs à gaz, et on en donne pour raison le coefficient d'irrégularité élevé des moteurs à gaz. Si on réfléchit que dans les moteurs à gaz, le nombre de tours, ou plutôt la durée d'un tour — j'y ai particulièrement insisté dans la première partie de ma communication — varie par suite de l'irrégularité des différentes explosions, donc de l'irrégularité de l'afflux de puissance, de telle sorte que, parmi les machines travaillant en parallèle, tantôt l'une, tantôt l'autre prend de l'avance, il est clair qu'il y a là surtout un phénomène d'interférence dont le coefficient d'irrégularité est la moindre cause.

On s'exagère souvent l'importance du coefficient d'irrégularité pour tous les phénomènes d'interférence, comme le montre la réflexion suivante : Les courants de circulation qui se manifestent entre deux machines par suite du coefficient d'irrégularité, tendent à accélérer la machine qui présente du retard, et à freiner celle qui présente de l'avance. Si d'un côté nous munissons les machines de volants lourds en vue d'atteindre un coefficient d'irrégularité aussi faible que possible, nous empêchons, de l'autre, les machines de suivre l'action des courants de circulation et par con-

séquent de se régler l'une l'autre, car l'accélération ou le freinage d'aussi grosses masses n'est pas possible.

Nous voyons donc que l'emploi de volants lourds peut aussi avoir une influence perturbatrice sur la marche en parallèle des alternateurs. Ceci s'applique également au cas où il se produit dans la charge d'une machine des variations dont la seconde machine ne peut prendre sur le champ sa part à cause de son trop grand moment d'inertie.

Il faut encore considérer que la vitesse avec laquelle l'organe de distribution de la machine motrice subit l'influence du régulateur est d'autant plus faible que le volant de la machine est plus grand, c'est-à-dire le réglage automatique d'une installation de cette nature devient dans les mêmes conditions d'autant plus difficile sinon franchement impossible.

D'après les différents cas indiqués ici, on peut se rendre compte que l'on peut vraisemblablement assurer la mise en parallèle des alternateurs avec des coefficients d'irrégularité assez grands : 1/100, jusqu'au maximum 1/200. L'expérience sera encore pour cela le meilleur maître. Les électriciens seraient, je crois, très reconnaissants aux constructeurs de faire connaître leurs expériences dans cet ordre d'idée, mais de ne donner de renseignements que sur les installations qui présentent ou ont présenté des difficultés pour la mise en parallèle, car ce sont de celles-là seules qu'on peut tirer un enseignement et non de celles qui fonctionnent bien.

Pour conclure, je voudrais résumer brièvement les résultats de mes recherches :

1. Dant toute machine qui présente de l'irrégularité, il se manifeste aussi des variations de la durée d'un tour, variations qui souvent ont plus d'importance que l'irrégularité elle-même ;

2° La détermination de coefficients d'irrégularité inférieurs à 1/100 est pratiquement impossible ;

3° Il est inutile pour l'électricien d'exiger des coefficients d'irrégularité plus faibles que 1/200, l'expérience a montré et confirme de plus en plus qu'on se tire d'affaire avec des coefficients d'irrégularité encore plus grands. Il en résultera un double avantage : machines moins chères et réglage meilleur.

Je m'estimerais heureux si j'avais pu apporter quelque contribution à la solution de ces importants problèmes.

D[r] Rudolf Franke.

SUR LES PROCÉDÉS DE MESURE

DES COEFFICIENTS D'IRRÉGULARITÉ ET ÉCARTS ANGULAIRES MAXIMUM

I. — Le développement de l'emploi des alternateurs a conduit les électriciens à se préoccuper des irrégularités de vitesse des machines motrices, ces irrégularités donnant lieu à des difficultés, d'une part dans l'accouplement en parallèle des alternateurs à cause des mouvements pendulaires que prennent ceux-ci, d'autre part dans l'exploitation des réseaux par suite de la présence d'harmoniques venant s'ajouter à l'onde fondamentale. Soumise à l'examen de la première section, présidée par M. Leblanc, du Comité de la Société internationale des électriciens, cette question a été l'objet de la part de MM. Leblanc, Boucherot, David, Loppé, etc., d'importants et intéressants travaux dont quelques-uns ont été communiqués à la séance de la Société des électriciens de mercredi dernier 6 novembre. L'article de M. Franke reproduit ci-dessus montre que cette même question n'a pas été délaissée en Allemagne.

Il y a environ six mois, sur la demande de M. Guilbert, nous avons nous-même apporté une modeste contribution à son étude en recherchant les procédés convenables pour mesurer le coefficient d'irrégularité et l'écart angulaire maximum. Cette recherche nous a conduit à quelques considérations que nous nous proposons de résumer dans cet article.

II. — Définissons d'abord les grandeurs qu'il s'agit de mesurer :

1° *Coefficients d'irrégularité.* — Du fait de la variation de l'effort moteur de la vapeur et de la variation de l'angle de la bielle avec la manivelle, l'arbre de la machine prend, *pendant la durée d'un tour*, des vitesses angulaires oscillant entre une valeur maximum Ω_{max} et une valeur minimum Ω_{min} ; on appelle *coefficient d'irrégularité pendant un tour* le quotient

$$k = \frac{\Omega_{max} - \Omega_{min}}{2\Omega}, \tag{1}$$

Ω désignant la vitesse angulaire moyenne pendant ce tour [1].

Mais en raison de l'élasticité des pièces conduites par la machine, ainsi que des légers défauts de centrage des pièces dont la vitesse angulaire est sous-multiple de celle de l'arbre principal, cette irrégularité de la vitesse pendant un tour doit nécessairement causer une légère différence dans les durées de deux tours consécutifs. En d'autres termes, à la variation périodique de la vitesse pendant la durée d'un tour doit s'ajouter une nouvelle variation, périodique sans doute, mais de plus longue période. En admettant la périodicité [2] de cette dernière variation, la variation résultante des deux sera elle-même périodique et nous avons à considérer un nouveau coefficient d'irrégularité

$$k' = \frac{\Omega_{max} - \Omega_{min}}{\Omega'},$$

Ω' étant la vitesse angulaire moyenne de l'arbre pendant la durée, égale à la longue période, d'un certain nombre n de tours, Ω'_{max} et Ω'_{min} les valeurs maximum et minimum de la vitesse angulaire pendant cette durée ; nous l'appellerons *coefficient d'irrégularité pendant* n *tours*.

2° *Angles d'écart maximum.* — Si nous supposons une manivelle idéale accomplissant, d'un *mouvement uniforme*, un tour entier dans le même temps que la manivelle réelle accomplit un tour d'un *mouvement varié*, les deux manivelles formeront à chaque instant un angle variable entre zéro et une valeur maxima θ. C'est cet angle θ qui est appelé *angle d'écart maximum pendant un tour*.

Nous pouvons admettre aussi que la manivelle idéale accomplisse d'un mouvement uniforme n tours pendant le temps que la manivelle réelle met à accomplir ces n tours d'un mouvement varié, n étant le nombre de tours correspondant à la période des variations lentes ; nous aurons encore un angle maximum θ' entre les directions des deux manivelles et nous appellerons cet angle, angle d'écart maximum pendant n tours.

Au point de vue électrique l'angle d'écart maximum a plus d'importance que le coefficient d'irrégularité. Ces deux quantités dépendent d'ailleurs évidemment l'une de l'autre, mais la fonction qui les relie peut être fort compliquée [3], la variation de la vitesse angulaire entre sa valeur minima et sa valeur maxima pouvant elle-même être fort complexe. La connaissance de l'une de ces quantités ne peut donc, en général, permettre d'évaluer l'autre. Toutefois il convient de remarquer que s'il était possible de connaître à chaque instant la valeur de la vitesse réelle, le coefficient angulaire s'en déduirait immédiatement et, par suite, l'angle d'écart maximum par une intégration. Le procédé de mesure le meilleur sera donc celui qui fournira la valeur instantanée de la vitesse.

---

(1) Dans l'article ci-dessus, M. Franke prend comme dénominateur la vitesse angulaire moyenne, et par conséquent obtient pour le coefficient d'irrégularité une valeur double de celle définie par la relation (1). Sur la proposition de M. Potier, la première section du comité de la Société internationale des Électriciens a adopté la formule (1). D'ailleurs cette définition cadre mieux que celle de M. Franke avec la définition de l'écart angulaire maximum.

(2) D'après M. Franke il existerait des cas où cette variation n'est pas périodique ; ces cas nous paraissent devoir être exceptionnels.

(3) D'après les recherches de M. David, la relation est fort simple pour des machines monocylindriques : elle est en effet $\theta = 32k$ pour les machines étudiées par cet ingénieur (Voir *Écl. Élect.*, t. XXVIII, p. 463) ; mais c'est là un cas particulier qu'il ne faudrait pas généraliser.

III. — Occupons-nous maintenant de ces procédés. Nous les classerons dans l'ordre même où nous les avons examinés pour nous rendre compte de leur exactitude et de leur sensibilité : les procédés mécaniques, acoustiques, électriques et optiques [1].

1° *Procédés mécaniques.* — La plupart sont basés sur le principe suivant : Inscrire ou observer le mouvement relatif d'un organe participant au mouvement irrégulier de la machine, par rapport à un second organe animé d'un mouvement connu, soit périodique, soit de rotation uniforme.

a. Le mouvement périodique le plus facile à réaliser est celui d'un diapason vibrant; aussi a-t-il été utilisé par de nombreux expérimentateurs avec des dispositifs variés. L'un de ces dispositifs consiste à fixer sur l'arbre de la machine un manchon recouvert d'un papier enfumé sur lequel s'appuie un style inscripteur attaché à l'une des branches du diapason ; si on on laisse fixe le diapason, l'inscription ne peut durer que pendant un tour de l'arbre ; en le déplaçant parallèles ment à l'axe de rotation, on peut inscrire pendant plusieurs tours successifs ; avec ce dispositif, les déplacements longitudinaux de l'arbre donnent lieu à des variations notables de l'amplitude des tracés correspondant aux oscillations du diapason, variations qui augmentent la difficulté déjà grande des mesures à faire sur ces tracés. Dans un autre dispositif, on peut fixer sur l'arbre un disque ayant son plan perpendiculaire à l'axe de cet arbre ; on recouvre ce disque d'un papier enfumé et on appuie sur lui le style du diapason dont les branches vibrent parallèlement au plan du disque ; si le diapason est maintenu dans la même position, la durée de l'inscription ne peut dépasser celle d'un tour ; le déplacement du diapason du centre à la périphérie du disque permet d'inscrire pendant plusieurs tours ; les mouvements longitudinaux de l'arbre n'ont plus alors d'influence sur l'amplitude des tracés, mais pour éviter que le disque, dans sa rotation, ne déforme le style inscripteur, le diapason doit être maintenu à une distance constante du disque ; on y parvient en fixant le diapason sur un axe muni d'un levier recourbé qu'un ressort appuie constamment contre le disque [2].

Quel que soit le dispositif adopté, le relevé des mesures se fait de la manière suivante : après avoir fixé le tracé (en y projetant du vernis avec un vaporisateur et laissant sécher), on détermine avec soin l'intervalle qui sépare les traits correspondant à deux oscillations successives du diapason et l'on a ainsi une quantité proportionnelle à la valeur de la vitesse au moment où s'est effectuée l'oscillation considérée. On peut donc alors tracer un diagramme polaire donnant la vitesse de l'arbre pendant un ou plusieurs tours.

Bien que ce procédé ait fourni des résultats satisfaisants à quelques expérimentateurs habiles, son exactitude est des plus problématiques. Pour apprécier un coefficient d'irrégularité de 1/200 avec une erreur de 10 p. 100, il faudrait, en effet, pouvoir mesurer la longueur d'un intervalle à un millième près ; or, avec une machine faisant 90 tours par minute, un diapason faisant 200 vibrations par seconde et un manchon ou disque de 50 cm de diamètre, la distance moyenne entre deux traits n'est que de 11 mm ; il faudrait donc pouvoir mesurer cette distance à moins de 1/100 de millimètre.

b. Dans les autres procédés, le mouvement auquel on rapporte le mouvement irrégulier de la machine est un mouvement de rotation uniforme. Généralement, ce dernier est obtenu en entraînant, au moyen de la machine elle-même, par frottement ou accouplement élastique, un disque, un cylindre ou un volant ayant un grand moment d'inertie. En raison de son inertie, ce dernier organe doit prendre une vitesse constante égale à la vitesse moyenne de la machine.

Quant au second organe, il est porté directement par la machine ou lui est lié par accouplement aussi rigide que possible [3].

---

[1] Dans l'article précédent, M. Franke les classe d'après la nature de la grandeur qu'ils déterminent.

[2] Voir dans l'article de M. Franke la description de quelques-uns de ces dispositifs.

[3] Dans son article, M. Franke décrit divers dispositifs de ce genre d'appareils de Aichele, de Schæfer et Budenberg, de Göpel et de Franke (p. 245 et suiv.). Un dispositif du même genre a été décrit récemment dans ce journal (t. XXIX, p. L) ; à ce propos rectifions une coquille : au lieu de « A côté du volant est monté *ou* sur l'arbre », lire « *fou* sur l'arbre ».

L'exactitude de ces procédés est certainement encore inférieure à celle des précédents. Non seulement les mesures faites sur les tracés ne peuvent avoir de précision à moins de donner aux cylindre, disque ou volant de l'appareil des dimensions exagérées, mais encore la régularité du mouvement de ces organes auquel on rapporte celui de la machine est moins satisfaisante qu'avec un diapason, les défauts de centrage des pièces tournantes amenant des variations de vitesse. D'ailleurs la vitesse moyenne prise par ces pièces ne peut être que la vitesse moyenne de la machine pendant plusieurs tours, de sorte que l'on ne peut avoir les quantités k et θ qui correspondent à un tour. D'une manière générale les dispositifs préconisés pour la mise en pratique de ces procédés ne permettent pas la solution complète du problème.

2° *Procédés acoustiques.* — En voici le principe : produire un son dont la hauteur soit à chaque instant proportionnelle à la vitesse de la machine à ce même instant et évaluer à l'oreille les variations de hauteur.

Par exemple, on dispose une roue dentée sur l'arbre et l'on appuie le biseau d'une carte contre la roue.

Il est bien évident que tout procédé de cette nature manque de sensibilité : une oreille exercée éprouvant déjà quelque difficulté à apprécier un intervalle de un comma (1/80), sera absolument incapable de percevoir des variations de 1/200.

3° *Procédés électriques.* — N'ayant pas cru trouver dans les procédés mécaniques et acoustiques une sensibilité et une exactitude suffisantes, nous avions songé à utiliser les variations de force électromotrice qui accompagnent toute variation de vitesse d'une machine électrique.

Le dispositif le plus simple basé sur ce principe consiste à caler sur l'arbre de la machine l'induit d'une petite dynamo à courant continu et à envoyer son courant dans l'un des enroulements d'un galvanomètre différentiel dont l'autre enroulement est parcouru par un courant compensateur réglé de façon à maintenir l'équipage galvanométrique au repos dans l'hypothèse d'une vitesse constante de la dynamo ; toute variation de cette vitesse produirait une déviation de l'appareil galvanométrique proportionnelle à cette variation.

Dans un autre dispositif, les deux enroulements formaient les primaires d'un transformateur différentiel à secondaire unique relié à un voltmètre très sensible ; ce dernier instrument eût indiqué de la même façon que le galvanomètre les variations de vitesse ; ce dispositif nous paraissait avoir sur le précédent l'avantage de permettre d'augmenter autant qu'on le désirerait la sensibilité de la méthode.

Nous avons toutefois abandonné l'idée d'avoir recours à un procédé électrique, pour trois raisons : 1° les variations qu'ils nous décèlent se rapportent non pas à la vitesse moyenne pendant un tour, mais à la vitesse moyenne pendant n tours [1] ; 2° la commutation et les défauts de symétrie inévitables des enroulements de la dynamo nous paraissaient pouvoir donner lieu à des variations de force électromotrice du même ordre de grandeur que celles résultant des variations de vitesse ; 3° enfin, comme la self-inductance produit dans les circuits traversés par des courants alternatifs exactement le même effet que l'élasticité dans les accouplements mécaniques, il était certain que les procédés électriques ne pouvaient avoir plus d'exactitude que les procédés mécaniques dans lesquels l'organe d'enregistrement est lié à la machine par un accouplement élastique [2], en

---

(1) On a vu comment M. Franke a habilement éliminé cette difficulté, mais les deux autres causes d'erreurs que nous indiquons subsistent dans le dispositif qu'il emploie.

(2) Aux procédés électriques se rattache un procédé imaginé par M. Claude et que celui-ci se proposait de présenter à la dernière séance de la Société des Électriciens. L'heure tardive à laquelle ont été terminées les communications portées à l'ordre du jour ne lui ayant pas permis de faire cette présentation, M. Claude nous a remis la note suivante qu'il avait rédigée à ce sujet :

« Messieurs, j'ai envisagé une autre solution du problème qui vous est soumis, et je désirerais vous en dire quelques mots.

» Je me suis proposé de rendre visible à chaque instant ce que j'appellerai le *balancement* du volant expérimenté par rapport à un volant idéal se déplaçant uniformément.

» Pour cela, appliquons contre la jante du volant une roue de bicyclette. En raison de la faible inertie de la roue et de la parfaite adhérence du caoutchouc, en raison aussi du peu d'importance des fluctuations de la vitesse angu-

d'autres termes que les variations de mouvement ou de vitesse de l'organe indicateur de l'appareil ne pouvait reproduire qu'avec une déformation plus ou moins grande les variations correspondantes de l'arbre menant la dynamo.

4° *Procédés optiques.* — Il ne restait donc à utiliser que des procédés optiques. Ces procédés sont d'ailleurs de plusieurs sortes et, suivant leur nature, permettent de déterminer soit l'angle d'écart maximum, soit la vitesse instantanée de rotation.

a). Le procédé qui vient immédiatement à l'esprit pour évaluer l'angle d'écart maximun dans le cas d'un alternateur à inducteurs mobiles consiste à examiner à travers une fente mobile un faisceau lumineux fixe passant entre les pièces polaires de la couronne inductrice ; si le mouvement de l'alternateur est bien uniforme et si le mouvement de la fente est réglé de manière que cette fente se trouve toujours exactement dans la même position quand les milieux des intervalles des pièces polaires passent par la direction d'un même rayon, la couronne inductrice paraîtra immobile; si, au contraire, la vitesse de rotation de l'alternateur oscille entre une valeur maximum et une valeur minimum, l'image rétinienne éprouvera des balancements entre deux positions extrêmes et l'écart angulaire entre ces positions extrêmes apparentes donnera le double de l'angle d'écart maximum. C'est, comme on le voit, l'application de la méthode stroboscopique utilisée aujourd'hui si souvent dans les usines électriques pour reconnaître le synchronisme des mouvements de deux alternateurs dont les axes sont dans le prolongement : un des alternateurs examiné à travers les intervalles des pôles de l'autre paraît immobile si les deux alternateurs sont en synchronisme.

On pourrait reprocher à ce dispositif de ne s'appliquer qu'au cas, le plus intéressant pour les électriciens il est vrai, où la machine motrice conduit un alternateur ; on pourrait encore lui reprocher de ne donner que l'écart angulaire maximum des pièces polaires et non celui de l'arbre de la machine, qui peut être fort différent en raison de l'élasticité des bras qui relient la couronne polaire à l'arbre. Mais il est évident qu'il suffit de fixer sur l'arbre un disque percé de fentes

---

laire, le mouvement de la roue reproduit fidèlement toutes les fluctuations du mouvement du volant, et la valeur *angulaire* du balancement qu'il s'agit de mesurer est évidemment amplifiée dans la roue de bicyclette dans le rapport du diamètre du volant à celui de la roue, soit 10 à 15 fois, ce qui est de nature à faciliter de beaucoup les mesures.

» Sur l'axe de la roue est calé un petit moteur. Inducteurs et balais tournent dans l'espace à une vitesse variant suivant les cas de 600 à 1200 tours par minute. Supposez que j'envoie dans le moteur un courant convenable pour faire tourner l'induit en sens contraire de la roue de bicyclette et à une vitesse égale. L'*induit* sera alors immobile dans l'espace, ainsi que l'index que nous y aurons fixé. Il sera immobile, aux fluctuations de la vitesse près, de sorte que l'index prendra un mouvement de balancement qui sera précisément — amplifié dans le rapport des diamètres — le balancement cherché.

» Remarquez que la mesure ne serait pas aussi délicate qu'on le pourrait craindre d'après ce qui précède. Il est inutile de maintenir la vitesse relative de l'induit rigoureusement égale à celle de la roue. Faisons-là croître progressivement à l'aide d'un rhéostat approprié et nous verrons l'index tourner de moins en moins vite pour s'arrêter à un instant donné et repartir en arrière dès que la vitesse relative de l'induit dépassera celle de la roue : or, pendant toute la période voisine du point de rebroussement, le déplacement de l'index sera assez lent pour que nous le voyions animé du mouvement de balancement caractéristique dont il sera aisé d'apprécier la valeur.

» M. Blondin m'avait objecté que le passage des balais d'une lame à l'autre du collecteur pourrait me gêner beaucoup. Effectivement, à chaque passage, la position de l'induit tend à subir une brusque modification de sorte que l'index prendrait de ce fait un mouvement de balancement qui se superposerait au premier et fausserait les résultats. Mais réflexion faite, il me semble que si l'inertie de l'induit immobile lui permet de suivre le balancement relativement lent du volant — qui se fait à raison de 4 ou 5 oscillations par seconde — elle devra s'opposer absolument à un mouvement oscillatoire qui comporterait, avec 30 lames au collecteur et 20 tours de roue par seconde, 600 oscillations par seconde. Le mouvement de balancement dû au volant subsisterait donc seul et la mesure pourrait se faire.

» Sinon, on pourrait encore arriver au résultat à l'aide d'un champ tournant à vitesse réglable, créé par un petit moteur auxiliaire muni d'un volant assez lourd pour que la vitesse de rotation du champ soit parfaitement uniforme.

» Je livre mon idée pour ce qu'elle vaut, espérant qu'on pourra arriver à en tirer parti. »

Si élégante que soit la solution proposée par M. Claude elle ne supprime pas les première et troisième causes d'erreurs que nous indiquons.

radiales et éclairé par derrière, ou encore un disque divisé et éclairé par devant, pour rendre le procédé applicable à la détermination de l'écart angulaire maximum de l'arbre d'une machine quelconque.

Pour obtenir le mouvement de la fente à travers laquelle on regarde, nous avons, comme dans les procédés mécaniques, deux moyens : ou bien fixer aux extrémités des branches d'un diapason entretenu électriquement deux petits écrans percés chacun d'une fente, ou bien faire tourner d'un mouvement uniforme devant la machine un disque percé de fentes radiales. Lequel convient le mieux ?

Au point de vue de l'exactitude, les deux se valent.

D'après les renseignements fournis par MM. Cornu et Lippmann, qui se sont beaucoup servis de la méthode stroboscopique, l'irrégularité du mouvement d'un diapason entretenu électriquement est inférieure à 1/2000 et permet par suite d'apprécier à un dixième près un coefficient d'irrégularité de 1/200. Celle du mouvement d'un disque sur l'arbre duquel est calé un lourd volant, peut être rendue encore plus faible si l'on donne au volant un moment d'inertie suffisant. Toutefois, pour la commodité des mesures, le disque tournant vaut mieux que le diapason. Il convient en effet de pouvoir modifier à volonté et très lentement la rapidité du mouvement de la fente pour l'amener à la valeur correspondant à la vitesse moyenne de la machine. A moins de prendre des diapasons réglables de Koenig, qui sont assez peu répandus, cette modification ne peut se faire pour les diapasons ordinaires qu'en déplaçant à la main les masses de réglage fixées sur les branches du diapason ; en outre, la variation que l'on peut ainsi obtenir est assez faible, de sorte qu'il faudrait changer de diapason suivant la machine à essayer. Un disque avec volant commandé par un petit moteur électrique à excitation réglable à volonté pourrait au contraire prendre des vitesses variables très lentement entre de larges limites.

Un point restait encore à élucider : En raison de la grande rapidité avec laquelle change la vitesse d'une machine, l'œil pourrait-il suivre les balancements de l'image rétinienne qui en résulte ? La réponse à cette question ne pouvait être fournie que par l'expérience. Or, celle-ci donne une réponse affirmative : M. Cornu, dans ses expériences sur la vitesse de la lumière, a eu l'occasion d'observer par la méthode stroboscopique des balancements résultant d'un jeu d'engrenages se reproduisant sept fois par seconde ; de son côté, M. Lippmann a constaté des balancements semblables dans ses déterminations de l'ohm et il s'en servait pour apprécier la régularité du mouvement de ses appareils.

La méthode stroboscopique est donc susceptible de donner avec exactitude l'écart angulaire maximum. Mais il ne faut pas oublier, d'une part, que c'est l'écart maximum pendant la durée de la période des oscillations les plus lentes de la machine et non l'écart maximum pendant la durée d'un tour ; d'autre part, qu'on ne peut déduire la valeur du coefficient d'irrégularité de celle de l'angle d'écart maximum.

b. Pour avoir la solution complète de la question, il convient donc de modifier le dispositif optique.

Plaçons sur l'arbre de la machine un disque percé de fentes radiales ; disposons par derrière une source lumineuse envoyant un faisceau à travers l'une d'elles et recevons ce faisceau à sa sortie de la fente, sur un miroir tournant animé d'une vitesse de rotation bien uniforme [1] ; le faisceau dessinera sur un écran une courbe lumineuse dont les abscisses seront proportionnelles au déplacement angulaire du miroir tournant et, par conséquent, au temps et dont les ordonnées seront proportionnelles au déplacement angulaire du disque. Si celui-ci et par conséquent la machine tournent d'un mouvement bien uniforme, les courbes correspondant à chacune des fentes seront identiques ; dans le cas contraire, elles différeront et si l'on inscrit photographiquement ces courbes, l'étude de leurs différences permettra de calculer la vitesse angulaire instantanée de la machine. C'est, sous une autre forme, le procédé appliqué par Lissajous pour reconnaître de faibles différences dans la période de deux diapasons vibrants et les expériences faites par ce

[1] Voir la figure 7 de l'article de M. Franke.

physicien indiquent que l'on peut avoir toute confiance dans la sensibilité du procédé ; on conçoit d'ailleurs que plusieurs dispositifs puissent être employés pour le réaliser.

c. Mais pour rendre le procédé pratique, il convient que les courbes ne soient photographiées que lorsque, d'une part, le miroir tournant aura pris une vitesse convenable et que, d'autre part, la machine aura un mouvement tel que la durée d'un tour soit, sinon absolument constante, du moins extrêmement peu variable.

L'emploi simultané du procédé stroboscopique et du procédé d'inscription optique permet de satisfaire à cette double condition : Le miroir de l'appareil d'inscription étant lié par engrenages au disque à fentes de l'appareil stroboscopique, nous règlerons la vitesse de l'ensemble jusqu'à ce que l'observation stroboscopique nous montre des balancements bien réguliers et bien symétriques de la machine ; un déclanchement découvrira alors la plaque photographique et la mettra en mouvement [1].

Divers dispositifs permettraient de réaliser ces conditions. Le choix ne peut en être fixé que par des considérations de facilité de construction et d'emploi. Nous en laissons le soin aux constructeurs d'appareils de précision, notre but, pour le moment du moins, étant seulement de montrer qu'il existe une solution satisfaisante du problème de la détermination expérimentale du coefficient d'irrégularité et de l'angle d'écart maximum.

J. Blondin.

REVUE INDUSTRIELLE ET SCIENTIFIQUE

ACCUMULATEURS

Accumulateur Carl Stoll. Brevet allemand n° 122 147, du 25 octobre 1900. *Centralblatt f. Accumulatoren- und Elementenkunde*, t. II, p. 239, 1er septembre 1901.

Cet accumulateur se distingue par son montage spécial. Les électrodes sont ici suspendues

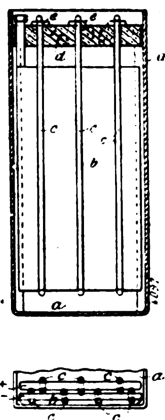


Fig. 1 et 2. — Accumulateur Carl Stoll.

au moyen d'anneaux ou de bandes élastiques dont les extrémités supérieures traversent le couvercle du vase et sont maintenues par dessus celui-ci à l'aide de chevilles. En même temps, les bandes élastiques servent à isoler l'une de l'autre les électrodes voisines.

La disposition employée est représentée par les figures 1 et 2. Les plaques *b* sont entourées de bracelets de caoutchouc *c* dont l'extrémité supérieure passe par une ouverture du couvercle *d*. Les ouvertures sont choisies aussi petites que possible, de façon à être remplies complètement par le brin double de caoutchouc. L'extrémité du bracelet dépassant le couvercle est écartée à nouveau et reçoit ainsi une cheville *e* qui maintient le bracelet. On peut aussi se servir d'une seule cheville pour tous les bracelets d'une même plaque.

Le bloc d'électrodes forme ainsi un ensemble élastique qui est insensible aux secousses.

L. J.

Machine Albert Gould pour le découpage des grilles d'électrodes d'accumulateurs. Brevet allemand n° 121 457 du 3 juin 1899. Brevet anglais n° 647 249 du 10 avril 1900. *Centralblatt f. Accumulatoren- und Elementenkunde*, t. II, p. 212.

Cette machine, destinée à découper les grilles,

(1) C'est en somme la méthode qu'applique M. Franke avec des procédés électriques.

comporte une paire de rouleaux pourvus chacun de couteaux découpeurs parallèles qui, pénétrant dans la surface des plaques de plomb, les coupe par suite de leur rapide rotation suivant des filets ou côtes présentant des gorges intermédiaires.

La plaque ainsi fabriquée possède une âme qui doit avoir l'épaisseur déterminée et être égale en tous points. Il est par conséquent nécessaire que les couteaux pénètrent toujours à égale profondeur dans la plaque et qu'ils se tiennent exactement en regard. A cet effet, un dispositif mécanique permet le rapprochement ou l'éloignement des cylindres découpeurs aussi bien horizontalement que verticalement.

Une particularité importante du système consiste à prévoir les moyens d'éviter autant que possible la déviation ou flexion des couteaux quand ils pénètrent dans la plaque. On emploie dans ce but des rondelles interposées entre les couteaux sur les rouleaux, en leur donnant un diamètre suffisant pour qu'elles viennent exactement en contact avec la plaque lorsque les couteaux sont complètement entrés dans cette plaque.

Pour obtenir une plaque présentant plusieurs sections découpées et séparées par des côtes transversales intermédiaires, on prévoit un certain nombre de paires de rouleaux découpeurs opérant simultanément.

La figure 1 ci-contre montre une vue en élévation de la machine. La figure 2 est une coupe suivant la ligne *aa* ; et la figure 3 représente la coupe d'une plaque fabriquée avec cette machine. Le bâti 1 est pourvu de cadres-supports 2 dans lesquels glissent horizontalement les paliers à coussinets 3 pour les rouleaux découpeurs 4 4'. Les paliers 5 5', dans lesquels tourillonnent les rouleaux, sont disposés pour glisser verticalement dans le support 3.

Le dispositif pour mouvoir les rouleaux comprend des pignons 26 engageant avec des crémaillères verticales 27 27' sur les coussinets respectifs 5 5', ces pignons tourillonnant dans les supports de coussinets latéraux 3 3 et connectés ensemble par des bras oscillants 28 et des articulations 28', de manière que les deux extrémités des rouleaux découpeurs se meuvent simultanément. L'un des bras oscillants 28 est connecté par une tige d'accouplement 29 au mécanisme d'actionnement. Celui-ci, commandé à la main, est entraîné mécaniquement. Il comprend un engrenage de réduction 30 entraîné par l'arbre principal, puis une vis hélicoïdale 31 qui commande la roue d'engrenage 32. Une manivelle 33 et une articulation 29 actionnent le bras oscillant 28. Enfin l'accouplement réversible 35, muni de la poignée 36, permet la marche dans un sens ou dans l'autre. Un ressort 37 est interposé dans cette connexion d'actionnement et est placé entre un collier 29' sur la tige 29 et une bague à rotation 28'' qui glisse sur la tige 29 et est connectée à pivot au bras 28.

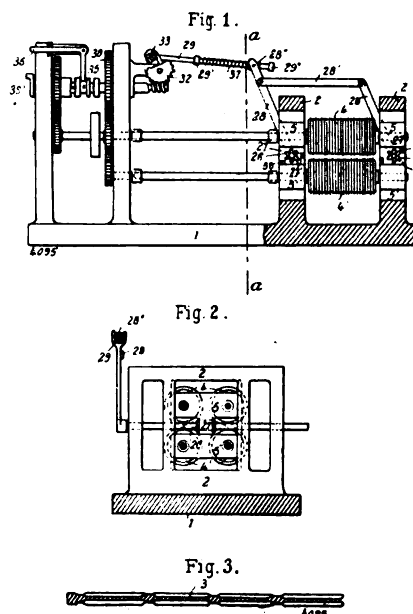


Fig. 1 à 3. — Machine Gould.

Un collier d'arrêt 29'' peut servir à entraîner le bras 28 en arrière dans le mouvement arrière de la manivelle. Ce mouvement arrière peut être effectué soit par la commande à la main de l'embrayage réversible, soit automatiquement après la course complète de la manivelle 33, lorsque celle-ci dépasse le point mort.

Le ressort 37 permet à la course complète du mécanisme, de s'effectuer, tout en déterminant une limite à l'approche des rouleaux par des dispositifs d'arrêts appropriés, tels que des blocs d'échappement 38 interposés entre les coussinets 5 5', l'épaisseur de ce bloc d'espacement déterminant l'espacement de la nervure qui doit être laissée dans la plaque, entre les couteaux

découpeurs. Le ressort 37 empêche également tout endommagement des couteaux qui pourrait résulter en forçant ces derniers à pénétrer trop rapidement dans le métal.

Chacun des rouleaux 4 4′ comprend des couteaux découpeurs parallèles consistant en disques de feuilles métalliques séparées par des rondelles de diamètre suffisant pour venir en contact avec la plaque brute lorsque les lames du couteau ont pénétré complètement dans cette plaque. De cette façon, les couteaux sont supportés latéralement et protégés contre une déviation ou flexion.

Pour préserver, en outre, les couteaux contre un déplacement latéral, on a prévu, entre les couteaux découpeurs, des doigts arrivant très près de la plaque, séparant ainsi les lames coupantes et les guidant lorsqu'elles pénètrent dans la plaque. Ces doigts ont aussi pour but d'enlever les particules de crasse ou déchets de métal qui peuvent rester sur les couteaux. Montés rigidement sur un arbre oscillant muni d'une manivelle, ils peuvent être mis facilement hors d'action pour leur nettoyage.

Cette machine peut servir au gaufrage par découpage des plaques de toute forme. Lorsqu'on veut une plaque avec rebords, comme celle de la figure 3, il est préférable de la fondre avec ces rebords, le restant de la plaque étant uni. On la dispose alors sur le chariot monté entre les bâtis 2, de façon à amener sa surface entre les rouleaux 4 4′. Le chariot étant ensuite fixé par un dispositif d'arrêt, on met la machine en mouvement au moyen de la poulie principale attaquée par courroie, de manière à produire la rotation des rouleaux. Le réglage de ceux-ci est alors effectué à l'aide de l'accouplement 36 qui provoque le rapprochement graduel. En même temps, on met également en fonctionnement à la main le mécanisme produisant le va-et-vient des rouleaux qui découpent le plomb suivant une forme côtelée ou gaufrée (fig. 3) tout en laissant une âme centrale.

Dans cette opération, il n'y a aucune portion de métal perdue ou enlevée de la plaque, mais la matière qui provient des parties entaillées est relevée en bords intermédiaires de telle façon que ceux-ci se trouvent un peu au-dessus de la surface de la plaque et donnent ainsi en ces points une épaisseur un peu plus grande que celle du cadre de la plaque.

Comme on le voit en figure 2, la machine possède deux jeux de rouleaux découpeurs agencés pour travailler simultanément sur deux sections de la plaque.

Réducteur automatique George Jacoby. Brevet allemand n° 122 502 du 21 mars 1900. *Centralblatt-Accumulatoren-und Elementenkunde*, t. II, p. 250. 15 septembre 1901.

La figure 1 montre une coupe horizontale et la figure 2 une vue en élévation de l'appareil. La figure 3 représente la roue de contact et la figure 4 un schéma de la disposition.

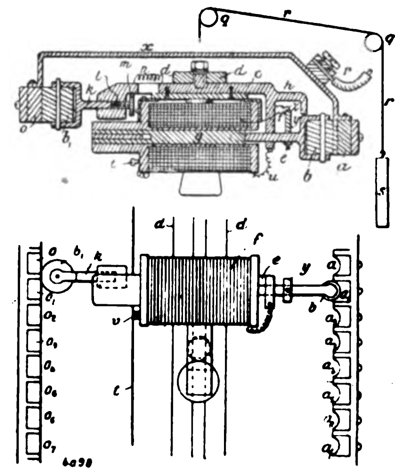


Fig. 1 et 2.

Les surfaces de contact *a* et *o* en communication avec les éléments sont placées en regard, mais avec un décalage, de telle sorte que lorsqu'une des roues *b*, par exemple, est en contact avec la surface correspondante, l'autre b_1 repose sur la couche isolante qui sépare deux surfaces voisines. Les roues de contact sont établies sur un dispositif de traîneau qui comprend une bobine, placée en dérivation sur la canalisation, solidement établie sur une bride de support *c* et isolée des roues de contact *b* b_1. Le support *e* de la roue de contact *b* traverse la bride *c* et est fixé solidement au noyau de fer *g* qui se trouve à l'intérieur de la bobine *f*. Le jeu de ce noyau est juste suffisant pour permettre à la roue *b* de quitter la profondeur d'un des contacts pour glisser sur la couche isolante et arriver au contact suivant.

En dehors de la bride *c*, le support *e* est muni d'un anneau *y* qui est relié à cette bride à l'aide d'un ressort spirale *z* isolé.

De l'autre côté, la roue b_1 est munie du support k qui peut se déplacer dans la bride par l'intermédiaire du ressort l réglable à volonté au moyen de la vis m. De ce côté les surfaces de contact et isolantes sont situées sur un même plan. Le ressort l a comme simple but d'assurer un bon contact des parties conductrices; une résistance n également placée de ce côté empêche l'établissement de court-circuits entre deux éléments voisins. Les deux contacts cor-

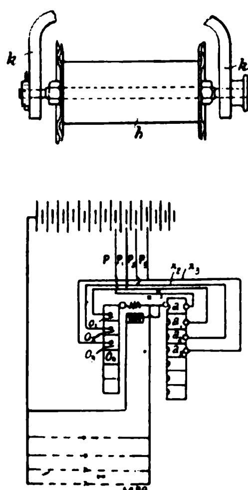


Fig. 3 et 4.

respondants sont reliés électriquement par la connexion x et le courant arrive des éléments par les conducteurs p.

L'enroulement de la bobine f est relié d'un côté, en u, directement à la bride c pendant qu'à l'autre côté est fixé un contact glissant v qui reste, pendant le déplacement, en communication constante avec le conducteur t relié à l'autre pôle de la batterie.

Tout l'appareil est mobile et suspendu sur les poulies q par une corde ou une chaîne r à à l'extrémité de laquelle est fixé le contrepoids s.

Le fonctionnement de ce réducteur est le suivant : le courant, partant d'un pôle de la batterie, passe par le conducteur t, le contact glissant v pour traverser l'enroulement de la bobine f, puis la bride c et arriver ainsi par un des contacts b ou b_1 aux surfaces a ou o reliées par la connexion x et le conducteur p à l'autre pôle de la batterie.

Supposons que le contact a soit sur le premier élément de réduction, et que la tension du réseau baisse d'une certaine quantité. La bobine f n'étant plus traversée par un courant suffisant, l'attraction du noyau de fer g n'est plus suffisante pour équilibrer la tension du ressort z. Celui-ci rappelle alors, par l'intermédiaire de la bague y et du bras e, la roue b du fond du contact a et tout le mécanisme descend par glissement sur les rails d. Dans ce mouvement, le contact b_1 vient d'abord en contact avec la surface o_1 et un deuxième élément de réduction est mis en circuit par la connexion x_1 et le conducteur p_1. A ce moment la roue b n'a pas encore quitté le contact a, de sorte que le premier élément de réduction serait en court-circuit par $p\,a\,b\,c\,b_1\,o_1\,x_1\,p_1$ si on n'avait pas pris la précaution de disposer une résistance n dans la bride c.

Dès que la roue b a quitté le contact a, la bobine f est placée en dérivation sous une tension supérieure, le circuit se fermant maintenant par o_1 sur le deuxième élément de réduction. L'attraction du noyau de fer est alors redevenue suffisante pour vaincre à nouveau la tension du ressort z. L'ensemble du système continue son mouvement de descente jusqu'à ce que la roue b soit entrée dans le creux du contact a_1 par lequel passe maintenant le courant pendant que la roue b_1 repose sur la partie isolante.

Quand la tension baisse à nouveau d'une quantité suffisante, les mêmes actions se répètent. Le mouvement est entravé par un arrêt placé sur les rails d lorsque le dernier élément de réduction a été introduit dans le circuit.

L. J.

DIVERS

Contribution à l'étude des courants de la bobine d'induction par **K. R. Johnson** *Dr. Ann.* IV, p. 722-734, avril 1901.

M. Johnson a trouvé dans ses recherches décrites antérieurement [1] que la résistance de l'étincelle secondaire d'une bobine d'induction devait être comprise entre 100 et 1000 mégohms. D'après les hypothèses de Hertz, au contraire, cette résistance ne devrait pas dépasser quelques ohms.

Il considère un oscillateur formé d'un condensateur K_1 K_2, de capacité γ dont les armatures

[1] *L'Écl. Élect.*, t. XXVI, p. 393, 16 mars 1901.

sont reliées à des boules P_1 P_2 entre lesquelles éclate l'étincelle de la bobine; la capacité des boules est γ_1, la capacité totale C_1 : le coefficient d'induction propre de chacune des moitiés est I_1, leur résistance R_1. Le résonateur a une capacité C_2; l'induction propre de chacune de ses moitiés est I_2, leur résistance R_2 : le coefficient d'induction mutuelle du résonateur sur l'oscillateur est μ_1 pour chaque moitié.

Dans le cas particulier où $C_1 R_1 = C_2 R_2$ et où les deux circuits sont en résonance, l'indication de l'électromètre relié aux extrémités du résonateur est indépendante de la distance du résonateur à l'excitateur.

Si la condition

$$\frac{L_1}{L_2} = \frac{C_2}{C_1} = \frac{R_1}{R_2}$$

est remplie, on doit pouvoir observer l'effet d'induction jusqu'à une distance infinie.

L'auteur rapproche cette conclusion théorique des expériences faites avec la télégraphie sans fil et aussi sur les lignes télégraphiques et téléphoniques.

Dans ces lignes les courants sont très faibles, il ne se produit pas d'étincelle de rupture, susceptible d'amortir les ondes et en fait, les ondes provoquées par la rupture du courant peuvent être enregistrées à des distances très grandes si le récepteur est en résonance avec le transmetteur. M. L.

Sur la vibration électrique d'un conducteur cylindrique, par **F. Kiebitz**. *Dr. Ann.* t. V, p. 872-905, août 1901.

Un excitateur rectiligne de Hertz, terminé ou non par des plaques émet, à côté de l'onde fondamentale, des ondes supérieures, de période plus courte.

M. Kiebitz a déterminé la période et l'amortissement de ces ondes.

Pour déterminer la période, il fait agir les ondes sur un résonateur de dimensions variables contitué par un cercle de cuivre qui se prolonge par deux fils parallèles : sur ces parallèles on fait glisser un pont. A l'autre extrémité du diamètre parallèle à ces fils, le cercle est interrompu. On constate la résonance par l'observation soit des étincelles secondaires entre les extrémités du cercle, soit d'un résonateur de Righi ou d'un tube de Zehnder relié à ces extrémités. Cette méthode permet seulement de déceler les premières ondes supérieures.

Pour aller plus loin, on construit, après avoir déterminé la longueur l du résonateur qui répond à l'onde fondamentale une série de résonateurs de longueurs $\frac{l}{h}$ pour toutes les valeurs de h de 8 à 21. On trouve que dans une position où l'un des résonateurs de longueur $\frac{l}{h}$ correspondant à une valeur paire de h ne donne aucune étincelle, le résonateur $\frac{l}{h+1}$ donne des étincelles très nettes. On met ainsi en évidence que l'excitateur rectiligne sans plaques terminales émet des ondes supérieures formant une série d'harmoniques impairs, dont on peut déceler jusqu'au 8e.

M. Kiebitz a construit d'après les données expérimentales ce que M. Abraham appelle les lignes nodales de la première vibration supérieure, l'accord entre l'expérience et la théorie est assez imparfait, ce que M. Kiebitz attribue à des perturbation expérimentales.

Lorsque l'excitateur est terminé par des plaques, les vibrations supérieures cessent d'être harmoniques.

Des courbes de résonance construites suivant la méthode de Bjerknes, il résulte que l'amortissement moyen de l'excitateur et du résonateur est d'autant plus grand que l'excitateur et le résonateur sont plus près l'un de l'autre. La construction de Bjerknes ne se vérifie que pour la région de la courbe de résonance voisine du maximum ; elle peut être employée aussi pour la première vibration supérieure. D'une manière générale, l'intensité des vibrations supérieures est beaucoup plus faible que celle de la vibration fondamentale.

Les valeurs de l'amortissement de l'excitateur pour la vibration fondamentale calculées par la théorie sont plus grandes que les valeurs observées, quand le résonateur est à une grande distance : pour la première vibration supérieure, les deux valeurs coïncident. Puisque l'amortissement calculé en tenant compte seulement du rayonnement est plus petit que l'amortissement observé, il faut en conclure que l'étincelle de l'excitateur a plus d'influence sur l'amortissement que le rayonnement.

Des expériences faites sur un résonateur rectiligne, il résulte que l'amortissement d'un tel

résonateur est beaucoup plus grand que celui d'un résonateur circulaire presque fermé.

Quelques expériences ont été aussi effectuées en mettant un cohéreur entre les extrémités du résonateur : il faut que l'excitateur et le résonateur aient même longueur de fil pour que la résonance se produise : le cohéreur se comporte donc comme un conducteur ou comme un condensateur de très grande capacité. M. L.

Sur les wattmètres à lecture directe; par **H. Armagnat.**

Sous ce titre a été publiée dans le numéro du 23 mars dernier (t. XXVI, p. 4451) une note de M. Armagnat dans laquelle s'est glissée une erreur à propos de laquelle l'auteur nous adresse la lettre suivante :

« Dans cette note, l'oubli du facteur de puissance, cos Φ, me fait dire que l'erreur *relative*, due à l'induction mutuelle entre les deux bobines du wattmètre, est constante et *indépendante de la réactance* du circuit sur lequel on fait la mesure.

» En réalité, c'est l'erreur *absolue* qui est *constante* et l'erreur relative doit s'écrire :

$$\varepsilon = \frac{-\omega^2 ML}{r} \frac{I}{E} \frac{1}{\cos \Phi}.$$

Cette erreur relative va donc en croissant quand cos Φ diminue, mais sa valeur est presque toujours négligeable devant l'erreur causée par la self-induction. La conclusion de la note reste donc entière. »

SOCIÉTÉS SAVANTES ET TECHNIQUES

SOCIÉTÉ INTERNATIONALE DES ÉLECTRICIENS

Séance du mercredi 6 novembre 1901.

L'ordre du jour de cette séance ne comportait pas moins de trois communications relatives à l'***Etude des mouvements des machines à vapeur (coefficient de régularité) et accouplement des alternateurs en parallèle***, et faites respectivement par MM. **Maurice Leblanc, David** et **Boucherot**. Une quatrième communication, non inscrite à l'ordre du jour, mais se rapportant également au même sujet, a été faite par M. **Cornu.**

M. Leblanc expose le programme des travaux que la première section du Comité a accomplis ou se propose d'accomplir; ce programme a été sommairement indiqué dans le numéro du 21 septembre de ce journal (p. 461).

M. David fait connaître l'étude très complète qu'il a faite de l'irrégularité de plusieurs machines à vapeur actionnant des pompes ou des dynamos à courants continus ou alternatifs. Il a déterminé les coefficients d'irrégularité, d'une part par le calcul au moyen des diagrammes de pression de vapeur relevés sur ces machines, d'autre part expérimentalement par l'examen des courbes tracées par un diapason sur un disque enfumé, calé sur l'arbre de la machine; les valeurs obtenues par ces deux procédés concordent d'une manière très satisfaisante eu égard aux difficultés que présente la détermination expérimentale. Une partie des résultats de l'étude de M. David a été signalée dans le numéro du 21 septembre de ce journal (p, 463); nous compléterons ces renseignements lorsque la communication de M. David aura été publiée.

M. Boucherot examine la question au point de vue électrique. Comme c'est l'angle d'écart maximum qui présente le plus d'importance dans le cas d'alternateurs conduits par des machines à vapeur, le conférencier a cherché quelle relation lie cet angle au coefficient d'irrégularité de la machine; dans ce but il a analysé non moins de 28 diagrammes de moteurs à vapeur; en outre il s'est placé successivement dans l'hypothèse où le groupe électrogène travaille isolément sur un circuit résistant sans self inductance (lampes à incandescence) et celle où l'alternateur travaille en parallèle sur un réseau à self inductance. Le travail fort important de M. Boucherot demande d'être analysé avec quelque détail; comme pour celui de M. David, nous y reviendrons lors de sa publication inté-

grale dans le *Bulletin de la Société internationale des électriciens*.

M. Cornu montre combien la méthode stroboscopique peut être utile pour la détermination de l'angle d'écart maximum. Grâce à la complaisance de M. Pellin, il est parvenu, entre la réunion du lundi 4 novembre du Comité de direction de *L'Eclairage Electrique*, où la question avait été posée, et la séance de la Société des Électriciens, soit en moins de 48 heures, à réaliser un dispositif montrant très nettement le phénomène dû à une variation périodique de l'angle d'écart et un autre dispositif permettant la mesure de la variation maximum.

Dans le premier de ces dispositifs une bague tournant autour d'un axe vertical et percée de deux rangées de trous est interposée entre une lanterne de projection et un écran. Les trous de l'une des rangées ont été percés en montant la bague sur le mandrin d'un tour et faisant tourner le mandrin de 20° pour passer d'un trou au suivant; ces trous, au nombre de 18, sont donc régulièrement espacés. Pour percer ceux de la seconde rangée la bague a été décentrée par rapport à l'axe du tour et pour passer d'un trou au suivant on a encore fait tourner le tour de 20°; on a donc encore obtenu 18 trous, mais non régulièrement espacés. L'écart angulaire entre les rayons aboutissant aux centres de deux trous voisins appartenant à l'une et l'autre rangée varie suivant une loi sinusoïdale; augmentant de 0° à un maximum d'un peu plus de 3°, puis diminuant depuis cette valeur jusqu'à la valeur 0° et repassant ensuite une nouvelle fois par ces mêmes valeurs. Les trous de la première rangée donnent sur l'écran, lorsque la bague tourne, une série de taches lumineuses, le centre de ces taches se trouvant toujours dans le plan vertical déterminé par la direction du faisceau lumineux et celle de l'axe de rotation. Ceux de l'autre rangée donnent encore une série de taches, mais leurs centres se trouvent tantôt à droite, tantôt à gauche de ce plan; il en résulte un balancement très net de ces taches par rapport aux taches fixes données par la première rangée.

Le dispositif destiné à la mesure de l'angle d'écart d'une machine motrice se compose de la bague percée de trous régulièrement espacés et d'un disque percé d'un nombre égal de fenêtres, tournant d'un mouvement uniforme autour d'un axe perpendiculaire à celui de la machine motrice; un faisceau lumineux, partant de l'axe de la bague (ce qu'on réalise en plaçant un prisme à reflexion totale suivant cet axe et recevant la lumière d'une source placée à 90° du plan normal à l'écran passant par cet axe), traverse successivement quelques-uns des trous et quelques-unes des fenêtres et vient tomber sur un écran. Si la bague et le disque ont exactement le même mouvement, les taches lumineuses se superposent sur l'écran et, par suite de la persistance des impressions lumineuses sur la rétine, paraissent fixes. Si, au contraire, les deux mouvements ne sont pas identiques, les taches lumineuses se déplacent; en particulier, si le mouvement du disque est uniforme et celui de la bague périodique, les taches éprouvent un balancement dont on peut déduire l'angle d'écart maximum. L'inscription sur un papier photographique se déplaçant perpendiculairement à la direction du balancement, permettrait d'avoir la variation de l'écart angulaire en fonction du temps.

Il est à remarquer que la bague doit être parfaitement centrée sur l'arbre, un défaut de centrage produisant un écart angulaire périodique entre le faisceau lumineux traversant les trous et le diamètre correspondant de l'arbre. Or, en éclairant la bague par une source lumineuse placée derrière elle par rapport à l'écran et supprimant le disque à fenêtres, c'est-à-dire en revenant au premier dispositif, ce défaut de centrage se trouvera accusé par le déplacement des taches. L'appareil peut donc être très facilement et très exactement réglé.

Dans l'expérience faite en séance, la bague était montée sur un axe vertical, le disque sur un arbre horizontal; bien que le mouvement leur fût donné tout simplement en les lançant à la main, les balancements des images étaient très apparents et se maintenaient très réguliers pendant plusieurs secondes. De ces résultats obtenus dans des conditions particulièrement mauvaises, il est donc permis d'espérer que la méthode stroboscopique permettra de résoudre le problème de la détermination expérimentale de l'angle d'écart maximum et même de la variation de l'angle d'écart avec le temps.

J. B.

Le Gérant : C. NAUD.

Tome XXIX. Samedi 23 Novembre 1901. 8e Année. — N° 47.

L'Éclairage Électrique

REVUE HEBDOMADAIRE DES TRANSFORMATIONS

Électriques — Mécaniques — Thermiques

DE

L'ÉNERGIE

FREINS DYNAMOMÉTRIQUES

A ACTIONS MAGNÉTIQUES ET ÉLECTROMAGNÉTIQUES [1]

IV. Frein de Feussner. — Deux modèles de ce frein étaient exposés à l'Exposition Universelle par la « Reichanstalt » allemande [2].

Le professeur Feussner signale que le frein électromagnétique est le seul instrument de précision que l'on possède pour la mesure de la puissance et il justifie, par la considération suivante, l'intérêt que peut avoir un constructeur à connaître à 1 p. 100 près le rendement d'une machine, afin de pouvoir chercher à modifier cette machine en vue d'en accroître le rendement, ne serait-ce que de peu de chose : si le rendement d'un moteur s'élève de 1 p. 100, c'est que les pertes diminuent d'environ 10 p. 100; par ce fait, la limite de puissance de la machine se trouve avantageusement reculée, puisque les pertes se traduisent en chaleur.

L'un des appareils exposés était indiqué comme ayant pour capacité limite 0,2 cheval, le second, 10 chevaux. Le plus petit a été construit il y a dix ans; dans l'autre, beaucoup plus récent, on a perfectionné quelques points et on a pu arriver par là à une capacité beaucoup plus importante.

Le premier est représenté dans la figure 11. Le système magnétique se compose de quatre courts électro-aimants disposés par paires à une faible distance et de part et d'autre de

---

(1) Voir *L'Éclairage Électrique* du 9 novembre, p. 189.

(2) Conférence du professeur Feussner à la Société des Électriciens allemands, 23 avril 1901. Voir *E. T. Z.*, 26 juillet 1901, p. 608. L'appareil a été signalé dans *L'Éclairage Électrique* par M. Armagnat. Voir *L'Éclairage Électrique*, t. XXIV, p. 332.

**

l'arbre et embrassant le disque : il est porté sur un long couteau. Le disque tourne entre deux paliers et peut être relié au moteur par un accouplement élastique ; on pourrait également l'actionner par une lanière ou une courroie qui s'enroulerait sur l'une des poulies à gorge ou lisse que l'on aperçoit sur la photographie. Le courant arrive à l'électro-aimant par le couteau lui-même et sort par un petit conducteur en forme de ressort situé dans le prolongement de l'arbre. Le point d'appui du système est sur l'axe général, et l'ensemble peut pivoter très librement. A une distance de 10 cm de l'axe de rotation se trouve un second couteau sur lequel repose un plateau destiné à recevoir les poids pour la mise en

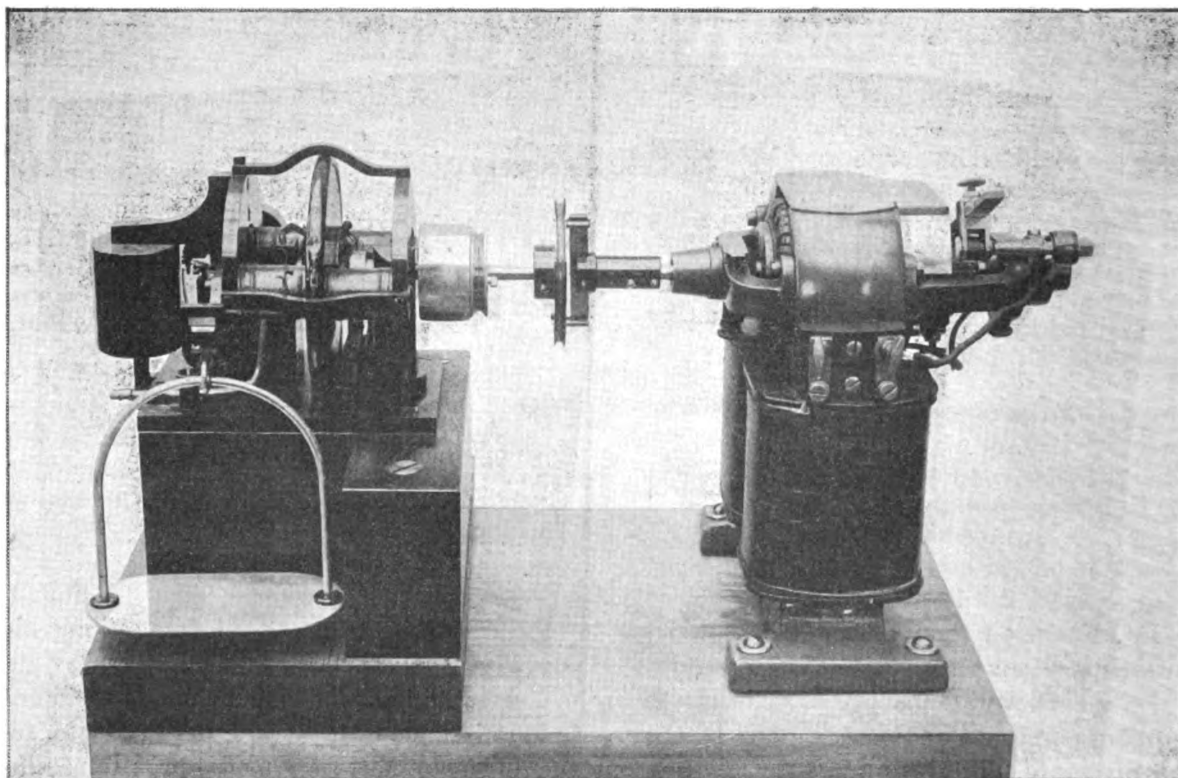


Fig. 11. — Petit frein Feussner.

charge du frein, le tout est équilibré par un contrepoids. A pleine excitation, il ne faut pas plus de 1 kg pour ramener le frein à sa position d'équilibre.

La figure 12 permet de se rendre compte des organes qui servent à la pesée : plateau de balance, aiguille et contrepoids. On y voit également les détails du dispositif employé pour refroidir le disque. Le disque n'est pas une pièce massive de cuivre, il est composé de deux demi-disques accolés et dont le profil a été étudié de manière qu'il reste un espace vide entre eux. Le moyeu du disque est renflé et est creusé d'un canal annulaire avec lequel le vide central est mis en communication. L'eau est amenée dans ce canal, la force centrifuge la rejette vers la périphérie du disque, laquelle est percée de petits trous par lesquels l'eau est chassée à l'extérieur dans une rigole appropriée.

Lorsque l'appareil sert pour des essais de peu de durée, le refroidissement artificiel est inutile ; il devient indispensable si on veut maintenir à pleine charge pendant un temps notable la machine soumise à l'essai.

La mesure de la vitesse ne peut généralement pas, au moins pour le petit modèle, se faire par des tachymètres ordinaires, dont la plupart absorbent une puissance de l'ordre de grandeur de celle du moteur essayé. Aussi l'arbre du disque porte-t-il un dispositif de contacts à l'aide desquels on charge une fois par tour un condensateur que l'on décharge

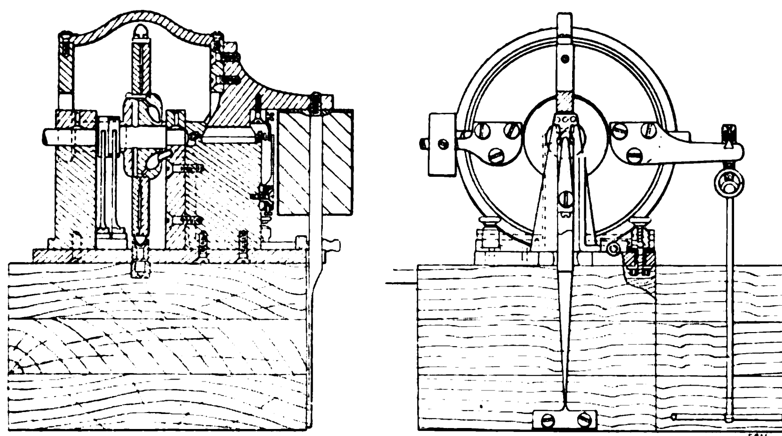


Fig. 12. — Plan et coupe du petit frein Feussner.

ensuite dans un galvanomètre balistique. L'élongation de ce dernier sert de mesure à la vitesse.

Au lieu de cet appareil, le professeur Feussner emploie un gyromètre de Braun, modifié sur ses indications et qui est représenté par la figure 13. Le gyromètre de Braun se com-

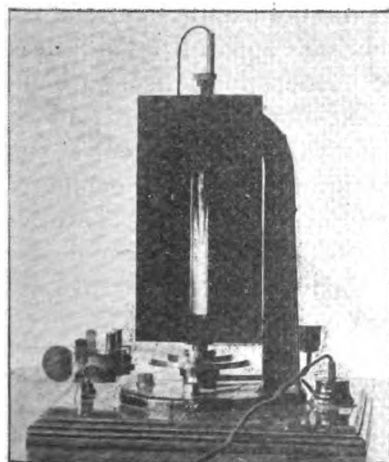


Fig. 13. — Gyromètre de Braun.

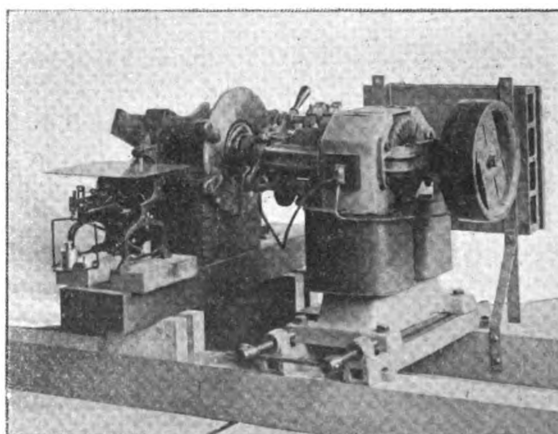


Fig. 14. — Grand frein Feussner.

pose essentiellement d'une ampoule de verre complètement fermée et dans laquelle se trouve de la glycérine : cette ampoule étant animée d'un mouvement de rotation autour de son axe, la surface du liquide devient une certaine surface de révolution et la position du plan tangent perpendiculaire à son axe de rotation est utilisée pour la mesure. L'ensemble tournant est guidé sur une hauteur relativement grande par un arbre fixe que soutient à sa partie supérieure un pivot à billes. Le graissage de ce pivot se fait d'une manière très

simple, on aperçoit d'ailleurs sur la figure le godet à huile. Le tube se détache dans une fenêtre percée au milieu d'un écran, et on éclaire par derrière.

Cet appareil absorbe, pour entretenir son mouvement, une puissance insignifiante, et dans des expériences faites au Reichanstalt, on a pu accuser par son emploi des variations de 1/300 dans la régularité d'une machine à 400 tours (¹).

Le dispositif de balance de ce frein est sensible au 1/1000.

La figure 14 représente le grand modèle du frein de Feussner. Il constitue un perfectionnement du premier à deux points de vue : d'une part, afin de diminuer les frottements, on a supprimé les paliers du disque et monté ce dernier sur l'arbre du moteur, comme nous l'avons vu faire dans tous les autres appareils. En second lieu, le refroidissement du disque n'était pas sans présenter des défauts : l'eau prenait à l'intérieur une certaine accélération et le travail ainsi absorbé n'était pas accusé par la balance. Quand on réglait la venue d'eau de manière qu'elle s'échappe à haute température, le travail absorbé par la mise en mouvement de cette eau n'était pas perceptible ; il n'en était plus de même si on activait la circulation. Le trajet de l'eau de refroidissement a donc été modifié.

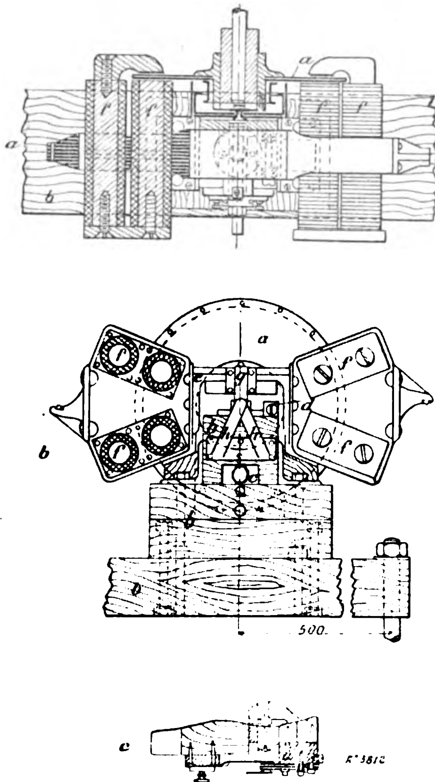


Fig. 15. — Plan et coupes du grand frein Feussner.

La figure 15 montre les détails de construction du grand modèle.

Le disque de cuivre est représenté en *a*; son moyeu est disposé de manière à pouvoir être monté sur tous les diamètres d'arbres; un solide bâti en chêne *b* soutient le couteau autour duquel oscille le circuit magnétique. On règle la hauteur de l'appareil à l'aide de cales; à l'aide de la vis *c*, la partie supérieure du bâti peut être déplacée vers l'avant ou vers l'arrière ; à l'aide de la vis *d* on peut faire mouvoir verticalement la suspension du système magnétique. Ce dernier comporte une pièce centrale en acier qui se prolonge à droite et à gauche par deux ailes de bronze sur chacune desquelles sont fixées deux paires d'électro-aimants. Chaque paire constitue un circuit magnétique complet et le noyau de l'électro extérieur vient se recourber jusque vis-à-vis du noyau voisin, de manière à embrasser le disque dans un faible entrefer. De part et d'autre, on a ajouté un couteau : à gauche, on peut suspendre un plateau de balance sur lequel on place les poids, tout comme dans le petit modèle. Le couteau de droite est tourné en sens inverse et il est commode de s'en servir pour faire pression sur le plateau d'une balance de Roberval ou d'une bascule.

Le disque est encore constitué de deux parties accouplées, mais des cloisons séparent le vide intérieur en six secteurs. Un secteur sur deux peut recevoir de l'eau de l'extérieur au moyen de trois canaux communiquant avec la cavité annulaire creusée dans le moyeu. Auprès de la périphérie, ces secteurs communiquent avec les trois secteurs qui, deux à deux, les encadrent et débouchent à leur tour à l'extérieur dans une enveloppe concen-

(¹) Voir *Zeitschrift des Vereins deutscher Ingenieure*, 1893, p. 593.

trique à l'arbre. La circulation s'établit ainsi fort bien. La coupe que l'on voit au bas de la figure 15 est une coupe par l'axe vertical du frein et montre l'arrivée du courant au couteau.

V. Frein de Rieter. — La Société Industrielle de Mulhouse a accordé, le 25 avril 1900, à M. E.-H. Rieter Bodmer, une médaille d'honneur pour le frein dont nous allons maintenant nous occuper [1].

Notre ami, J. Reyval, mentionnait récemment le régulateur de turbine que construit M. Rieter depuis quelques années déjà [2]. Le frein électromagnétique est, sauf la suspension des inducteurs, de construction identique, et la figure 16 représente le premier modèle de ce frein. La figure 17 est la reproduction de la planche fournie par le constructeur à la Société Industrielle de Mulhouse.

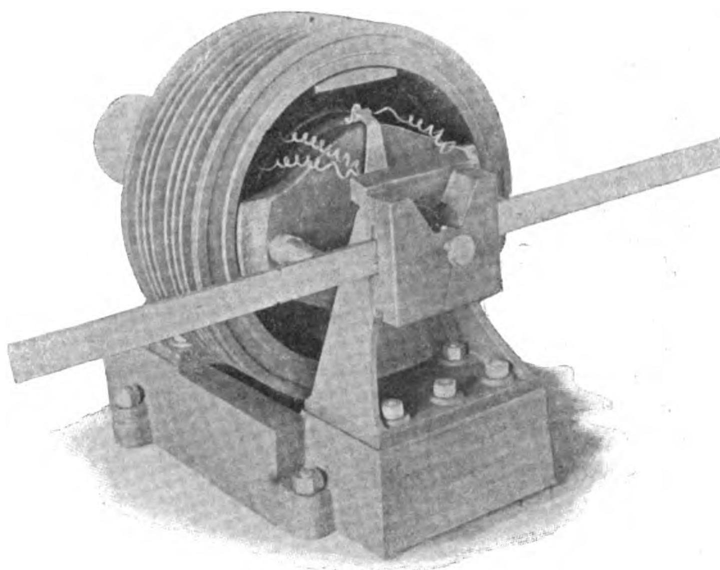


Fig. 16. — Frein Rieter.

La partie inductrice est analogue à celle d'un alternateur : elle est mobile autour d'un manchon fixe lié rigidement à un des paliers de l'appareil, et les roulements sont à billes. Autour de ces inducteurs tourne un anneau massif en acier, dont le mouvement de rotation est commandé par une poulie. La partie inductrice porte deux bras de levier gradués qui se prolongent d'environ 1 m de part et d'autre de l'axe de rotation; sur chacun d'eux on peut faire coulisser un poids curseur. Le bras postérieur sert dans le cas où l'on mesure de grandes puissances; on laisse alors un poids fixe quelque part sur ce levier et l'on met au point à l'aide du poids antérieur. Par exemple, M. le professeur Weber, pour les essais au delà de 22 chevaux, a disposé à poste fixe sur le levier postérieur, un poids de 29,30 kg à la division 74,65, et un poids de 15,15 kg à la division 64,5. La mise au point a été faite avec un poids de 13,80 kg. On juge de l'équilibre au moyen d'un fil à plomb.

---

(1) A titre documentaire, nous rappellerons un énoncé du prix institué par la Société :

« Médaille d'honneur pour un frein électrique permettant de mesurer au cinquième de cheval près, une puissance de l'ordre de 20 chevaux. Le refroidissement devra se faire uniquement par l'air en contact avec la partie tournante.

« Le constructeur devra établir ce frein de manière à ce que le travail absorbé par le frottement de l'air soit négligeable, pour les mesures courantes, comparativement à la puissance à mesurer, tout en indiquant une formule permettant de calculer ce travail absorbé par frottement de l'air pour toutes les vitesses auxquelles le frein est susceptible de fonctionner ou, mieux, munir le frein d'un levier agissant dans le même sens que la force à mesurer, levier sur lequel glisse un poids dont la position est graduée empiriquement, de manière à éliminer le frottement par les différentes vitesses.

« Le frein devra avoir été essayé par une autorité compétente et les résultats de l'essai, ainsi qu'un dessin du frein, annexés au travail. »

C'est M. le docteur H.-F. Weber, le distingué professeur de Zurich, qui a effectué les essais prescrits.

(2) *L'Éclairage Électrique*, t. XXVII, p. 134.

Afin d'augmenter la surface extérieure qui doit dépenser la chaleur produite dans l'anneau d'acier, ce dernier porte à sa partie extérieure une rangée d'ailettes annulaires en tôle. Grâce à ce dispositif, l'échauffement reste toujours modéré.

Afin d'expérimenter l'appareil, M. le professeur Weber a comparé ses indications avec celles d'un dynamomètre à engrenages de Rieter parfaitement connu [1].

Le mode expérimental employé pour la lecture du bras de levier est celui qu'il convient toujours d'imiter; on détermine les deux positions des poids sur le levier, pour lesquelles ce dernier quitte sa position horizontale pour s'incliner vers le bas ou vers le haut et on prend la moyenne.

Les résultats des expériences sont représentés par la figure 18.

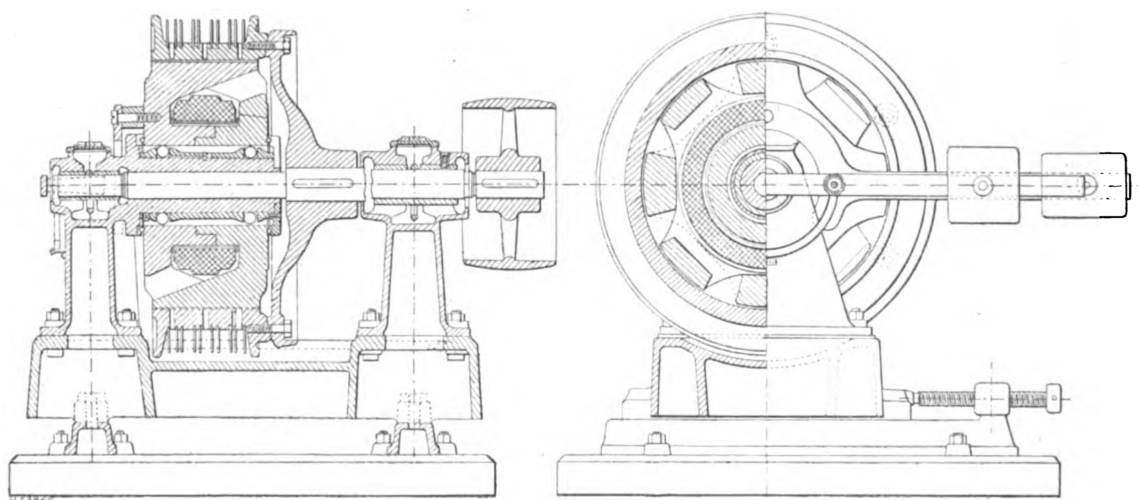


Fig. 17. — Coupes et élévation du frein.

Les courbes I et II se rapportent à 17 essais faits à une vitesse moyenne de 430 tours au dynamomètre; l'interruption que l'on remarque vers 13 chevaux provient de ce que l'on a fait à ce moment une expérience à vide et que, lorsqu'on a remis l'excitation, la vitesse était un peu remontée. La courbe III se rapporte à 7 essais effectués à une vitesse d'environ 600 tours. Les courbes I, II et III sont tracées en fonction du courant d'excitation et de la puissance totale absorbée par le frein.

La courbe IV représente les watts absorbés par l'excitation en fonction du courant d'excitation.

La figure 19 indique la puissance absorbée par le frein à vide en fonction du nombre de de tours par minute. M. le professeur Weber a trouvé que cette puissance pouvait être représentée par la formule

$$p = 0,00143 \text{ N}$$

p étant exprimé en chevaux et N en tours par minute.

La figure 20 représente la précision du dynamomètre exprimée en pour cent de la puissance absorbée. Cette précision est environ de :

1 p. 100 de 5 à 10 chevaux.
0,06 à 0,03 p. 100 de 10 à 20 chevaux,
0,03 à 0,02 p. 100 de 20 à 30 chevaux.

[1] Un dynamomètre de ce genre figurait à l'Exposition Universelle (Section Suisse, cl. 21, n° 22).

M. le professeur Weber fait remarquer que le frein Pasqualini ne donne pas de résultats plus précis. Le dernier modèle du frein Feussner donne une précision bien plus grande dans les limites de son emploi.

VI. — Il serait difficile d'étudier théoriquement, d'une manière complète, la marche

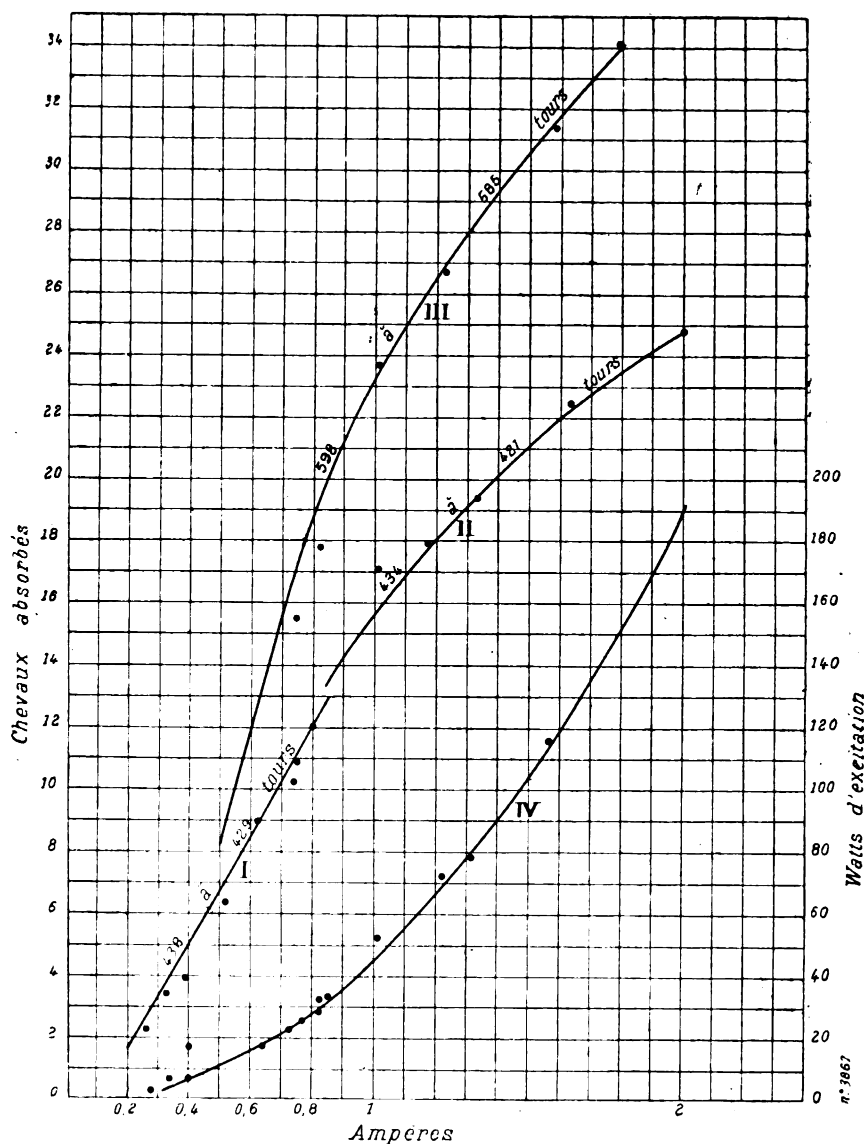


Fig. 18. — Frein dynamométrique Rieter. — Courbes des essais du professeur Weber.

d'un des freins que nous venons d'étudier. Nous n'y essaierons pas, et nous nous bornerons à tirer quelques indications de la formule générale du travail absorbé et des expériences exécutées sur les freins existants.

Si nous reprenons la comparaison du frein électromagnétique à disque non magnétique avec une dynamo, nous en déduisons que la puissance absorbée par cet appareil est représentée par la formule

$$P = N \Phi I,$$

N étant le nombre de tours par minute du disque,
Φ le flux coupé par le disque,
I le courant qui prend naissance dans le disque.

Φ est une fonction du courant d'excitation et croît avec ce dernier, suivant une loi qui n'est pas linéaire. Il en est de même du champ $\mathcal{H}$. Nous écrivons

$$\mathcal{H} = f(i). \qquad \Phi = k f(i).$$

Si l'on remarque que la force électromotrice développée par la rotation du disque, c'est-à-dire la variation de flux pendant l'unité de temps est proportionnelle au nombre de tours N, à la largeur radiale a de la projection d'un pôle d'électro-aimant sur le disque, et à la distance r du milieu de cette projection à l'axe de rotation, la loi d'Ohm indique que l'intensité I peut être considérée comme proportionnelle au nombre

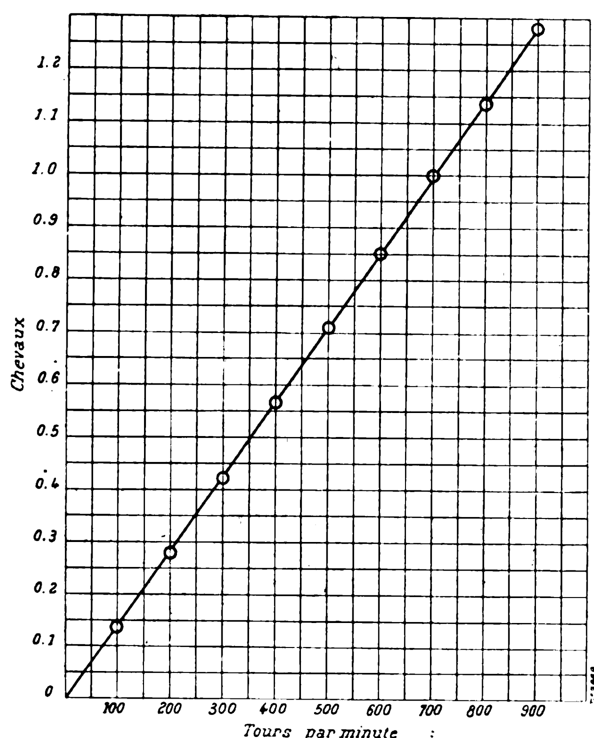


Fig. 19. — Courbe de la puissance absorbée par le frein Rieter à vide.

$$\frac{N r a \mathcal{H}}{\rho}$$

ρ étant la résistivité du métal du disque.

En résumé la puissance freinée P sera proportionnelle à

$$\frac{N^2 r. a. f(i)^2}{\rho}$$

et le couple à équilibrer à

$$\frac{N. r. a. f(i)^2}{\rho}.$$

Il résulte de là que pour un appareil donné, et à vitesse constante, on pourra augmenter le couple électromagnétique en augmentant la vitesse, l'écartement des électroaimants ou l'excitation, mais que ce dernier moyen sera de beaucoup le plus puissant.

Quel est l'ordre de grandeur de la force électromotrice induite dans le disque et du courant correspondant? Le professeur Feussner, en supposant que les courants de Foucault avaient une trajectoire circulaire dans le grand modèle de son frein — pour lequel le diamètre du noyau des électro-aimants est de 40 mm, le bord du disque est éloigné de 15 mm de ce noyau et la largeur du demi disque est de 6 mm, — a trouvé pour la résistance du circuit le chiffre de 0,00005 ohm, pour le courant 4 500 ampères et pour la force électromotrice 0,03 volt, dans le cas où la puissance freinée est de 4 kilowatts.

La formule donnée plus haut ne tient pas compte de la réaction du disque, c'est-à-dire de l'effet démagnétisant produit sur le champ inducteur par le champ des courants mêmes qui parcourent le disque. Feussner indique qu'à excitation constante, le couple du frein ne varie pas forcément dans le même sens que la vitesse, ni proportionnellement à elle.

La réaction du disque se manifeste encore d'une autre manière. Lorsque le disque s'échauffe, sa résistivité diminue et la théorie indique qu'il faut remonter l'excitation si l'on

veut faire travailler le moteur à couple constant. Dans l'un des modèles du frein de Feussner, le couple augmente avec la température du disque, dans l'autre il diminue.

Si maintenant nous considérons le frein de Rieter, le couple total de freinage se compose de deux autres couples; l'un est un couple électro-magnétique auquel les raisonnements ci-dessus s'appliquent, et l'autre, un couple d'hystérésis, lequel est indépendant de la vitesse. Cette remarque permet, ici, comme dans le cas de véritables dynamos, de se faire une idée des grandeurs relatives du couple d'hystérésis et du couple électromagnétique. Nous avons vu que ce second couple est proportionnel à la vitesse; on peut donc écrire, pour une excitation donnée

$$C_t = \alpha N + C_h$$

C_t étant le couple total, N le nombre des tours par minute et C_h le couple d'hystérésis.

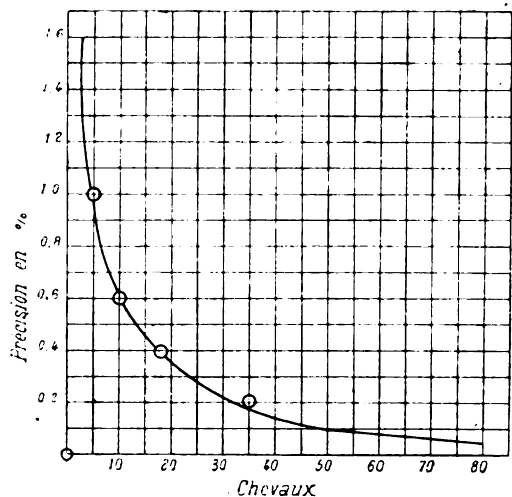


Fig. 20. — Précision du frein Rieter.

En appliquant cette équation aux différents points des courbes de la figure 13 correspondant à la même abscisse, on obtient deux équations que l'on peut résoudre par rapport à α et à C_h.

Comme exemple, si l'on prend les abscisses 0,5 et 2 ampères, on trouve les résultats suivants :

Excitation de 2 ampères à 585 tours — $\frac{C_h}{C_t} = 73$ p. 100 et $C_h = 3\,\alpha N$

id. 421 tours — $\frac{C_h}{C_t} = 69$ p. 100 et $C_h = 3{,}2\,\alpha N$

Excitation de 0,5 ampères à 598 tours — $\frac{C_h}{C_t} = 59$ p. 100 et $C_h = 2{,}4\,\alpha N$

id. 435 tours — $\frac{C_n}{C_t} = 66$ p. 100 et $C_h - 3\,\alpha N$

Comme d'autre part α est, à une constante près, égal au produit du flux inducteur par le courant qui circule dans l'anneau massif, les considérations précédentes donnent le moyen de se renseigner sur l'ordre de grandeur des courants induits : il suffit d'avoir les données électriques et magnétiques de l'appareil.

Il faut remarquer que dans les appareils qui absorbent à la fois du travail électromagnétique et du travail d'hystérésis la grandeur respective de l'un et de l'autre est fonction de la résistivité et du coefficient η du métal magnétique dont est constituée la pièce massive. Or, le fer a déjà une résistivité égale à au moins sept fois celle du cuivre : on peut donc concevoir que, dans les freins qui utilisent des pièces massives en fer ou en acier, le travail d'hystérésis soit plus considérable que le travail électromagnétique.

VII. Autres usages des freins dynamométriques et électromagnétiques. — Nous ne citerons que pour mémoire l'utilisation de ces appareils comme appareils à lecture directe en équilibrant le couple par un ressort.

Une application beaucoup plus intéressante, et bien connue d'ailleurs, est l'usage comme hystérésimètres d'appareils basés sur le principe de ceux que nous venons de

***

décrire ou l'adaptation de ces derniers à ce but spécial. M. Potier a fait construire un hystérésimètre disposé à l'inverse des freins Pasqualini ou Feussner. Cet appareil se trouvait à l'Exposition universelle dans l'exposition de l'École supérieure d'électricité. Nous devons à l'obligeance de M. Chaumat, chef des travaux à cette école, les renseignements suivants : les tôles à essayer sont disposées en un paquet en forme d'anneau et sont montées sur l'équipage oscillant formant balance. Le paquet a 18 à 19 cm de diamètre et une épaisseur de 18 mm. L'inducteur est un électroaimant à deux pôles : l'induction qu'il produit dans les tôles est de 8 850 gauss. La vitesse, indifférente au point de vue du couple, est généralement de 15 à 1 800 tours, pour se rapprocher des fréquences usuelles. La période propre

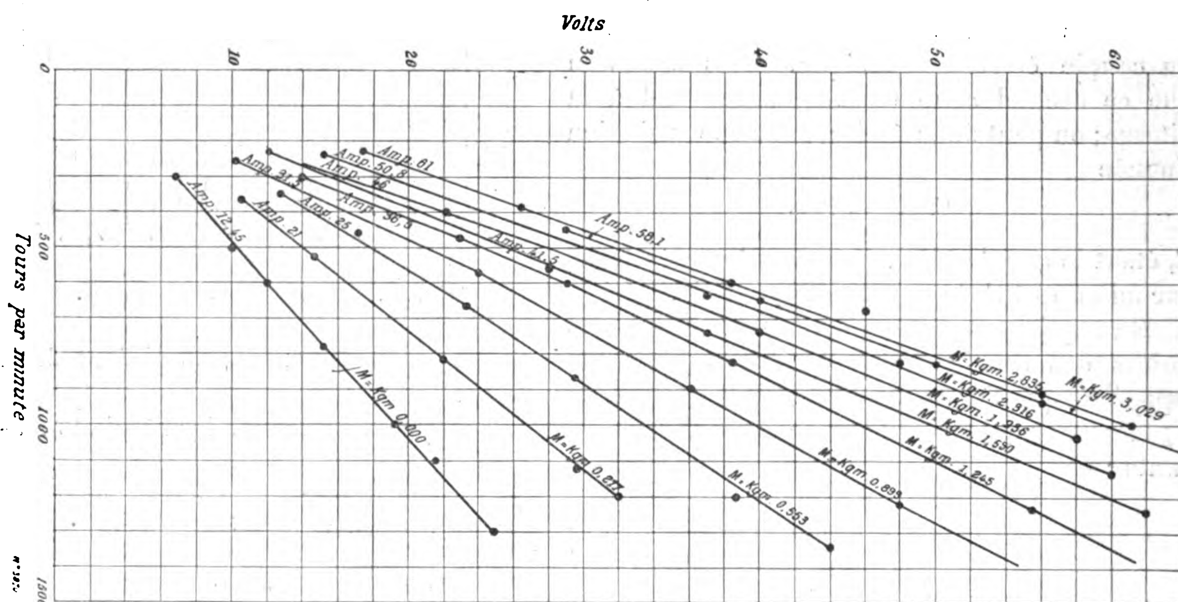


Fig. 21. — Essais exécutés avec le frein Pasqualini.

d'oscillation de la balance est de l'ordre de la seconde. Il serait extrêmement facile de faire de cet appareil un frein du genre de ceux que nous venons d'étudier.

Le frein Pasqualini peut être utilisé comme hystérésimètre en remplaçant le disque en cuivre par un disque composé d'un assemblage des tôles à essayer, auxquelles on donne une forme circulaire de 15 cm de diamètre, le paquet ayant environ 10 cm d'épaisseur.

Les hystérésimètres de Desprez et de Blondel rentrent dans la même catégorie que celui de M. Potier, mais avec équilibrage par ressort. Dans l'hystérésimètre d'Ewing, au contraire, ce sont les tôles à essayer qui sont animées d'un mouvement de rotation, comme dans l'appareil Pasqualini.

VIII. — Pour terminer, il nous reste à voir une application de ces freins à un essai de dynamo, et nous analyserons rapidement l'étude d'un moteur de 4 chevaux à 1 000 tours par minute sous 60 volts, exécuté au laboratoire électrotechnique de la marine italienne, à la Spezzia, à l'aide du frein Pasqualini [1].

Le moteur était complètement enfermé ; il avait quatre pôles ; les pôles inducteurs et leurs culasses étaient en tôles laminées. L'induit était en tambour avec enroulement en

---

[1] *Elettricista* 1897, n° 8.

série et on pouvait employer deux ou quatre paires de balais. L'excitation était en tambour et les enroulements des quatre inducteurs, en parallèle entre eux, avaient une résistance de 0,04 ohm à froid.

La résistance de l'induit était de 0,026 ohm et celle des balais, déduite de la chute de tension entre les porte-balais et le collecteur, fut trouvée variable entre 0,010 et 0,015 ohm, de sorte qu'on pouvait prendre pour la résistance de la machine complète à froid, 0,078 ohm.

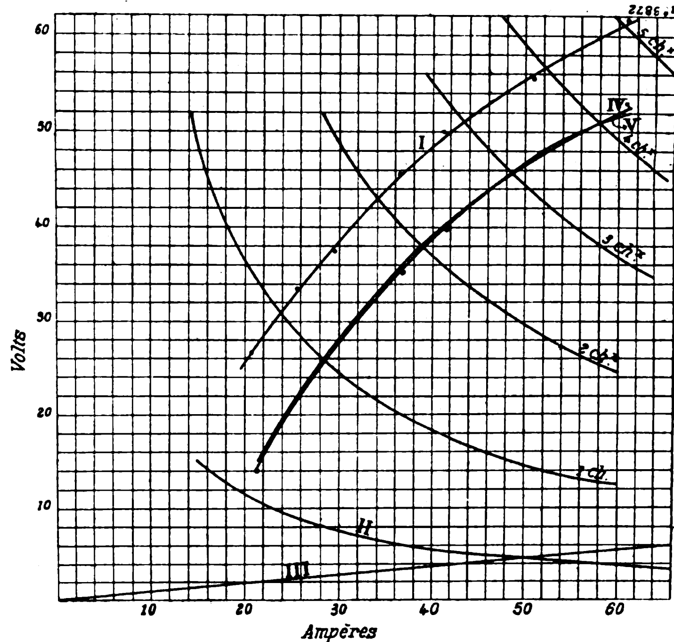


Fig. 22. — Essais exécutés avec le frein Pasqualini.

Le frein était disposé de manière à donner un moment résistant que l'on maintenait constant pendant toute une série de mesures (5 à 7), et l'on mesurait l'intensité du courant et la différence de potentiel aux bornes correspondant aux diverses vitesses.

Il a été fait 61 mesures et on peut être assuré que le résultat n'aurait pas été aussi précis ni aussi rapidement obtenu avec un frein de Prony.

Les résultats de ces 61 mesures sont reportés sur la figure 21 qui représente la différence de potentiel aux bornes en fonction de la vitesse à couple constant.

De ces nombres, on a déduit la courbe I de la figure 22, qui correspond à 1 000 tours par minute : c'est là une méthode indirecte d'obtenir la caractéristique qui fut trouvée plus commode que la méthode ordinaire.

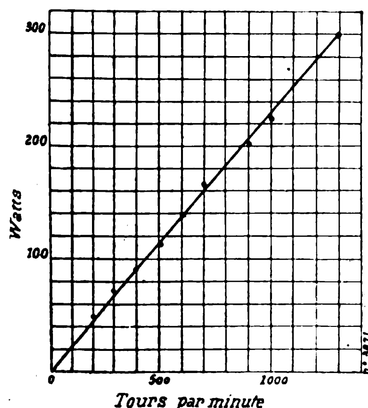


Fig. 23. — Essai exécuté avec le frein Pasqualini.

La figure 23 représente les pertes par frottement ; elle se déduit de la courbe inférieure de la figure 21, après déduction des pertes Joule. On voit qu'à la vitesse normale de 1 000 tours par minute, le moteur absorbe 229 watts pour vaincre les frottements.

La courbe II de la figure 22 est une hyperbole équilatère d'équation.

$$xy = 229$$

Elle donne donc pour les différents régimes de courants la perte en volts correspondant aux frottements.

La droite III de la figure 22 forme avec l'axe des abcisses un angle dont la tangente est égale à la résistance du moteur à la température de 35° admise comme température de régime : elle donne pour les différents régimes de courants la perte en volts dans les enroulements.

La courbe IV a été obtenue en faisant la différence des ordonnées de la courbe I et de

la somme des ordonnées des lignes II et III. C'est la courbe de la puissance transformable qui doit être égale à la puissance disponible sur l'arbre, si des phénomènes parasites provenant d'un vice de construction du moteur n'interviennent pas.

Pour se rendre compte s'il en est ainsi, on a tracé la courbe V qui représente la puissance disponible mesurée à l'aide du frein et dont les ordonnées sont égales à

$$\frac{2\pi . M . 1\,000}{60} . 9{,}81$$

M étant le moment résistant correspondant au courant porté en abscisse et à la vitesse de 1 000 tours.

A pleine charge, comme on le voit, la puissance disponible sur l'arbre était de 58 ampères $\times$ 51 volts = 2 958 vatts, tandis que la puissance absorbée était de 58 ampères $\times$ 60 volts = 3 480 watts. Le rendement était donc de 85 p. 100.

Jacques Guillaume.

LES ALTERNATEURS A L'EXPOSITION DE 1900

Parmi toutes les subdivisions de l'industrie électrique, celle de la construction des alternateurs a une importance capitale à cause du rôle prépondérant que jouent les courants alternatifs dans la transmission de l'énergie.

Par suite de la diversité des types de dynamos présentées par les différentes maisons, l'Exposition fut particulièrement instructive pour les ingénieurs qui s'intéressent à un titre quelconque au progrès des machines à courants alternatifs.

Après les descriptions de la plupart des alternateurs exposés, nous avons pensé qu'il ne serait pas inutile de résumer les points principaux qui régissent, à l'heure actuelle, l'emploi et la construction de cette importante catégorie de machines.

Nombre de phases. — Un des faits qui frappa le plus l'esprit des visiteurs du Palais de l'Électricité fut le triomphe, définitif à notre avis, des courants triphasés sur les autres systèmes à courants alternatifs simples ou polyphasés même pour l'éclairage.

Il semble qu'on soit enfin revenu sur cette idée, fausse d'ailleurs, et qui eut cours pendant quelque temps chez nous, à savoir, que les différences de charges sur les trois circuits d'un réseau d'éclairage par courants triphasés ne permettent pas d'obtenir des tensions égales sur les trois phases.

Les générateurs à courants alternatifs simples ou diphasés étaient, en effet, très réduits à l'Exposition. En particulier, parmi les groupes électrogènes affectés au service de l'éclairage et du transport de l'énergie, on n'en comptait qu'un seul à courants alternatifs simples, installé par les ateliers d'Oerlikon et un seul à courants diphasés, celui de MM. Farcot, de Saint-Ouen. Encore faut-il ajouter que la nature du courant, dans ce dernier, avait été imposée par celle de l'installation existante à l'agrandissement de laquelle il était destiné.

Si l'on joint à ces machines un alternateur à courants diphasés Thury, destiné également à une installation existante, celle de Skajaerscelven, un alternateur à courants diphasés Thury-Creusot, type à carbure, et deux ou trois alternateurs à courants alternatifs simples, on obtient un total de 6 à 7 machines à courants alternatifs simples ou diphasés pour plus de 60 machines à courants triphasés.

Alternateurs hétéropolaires et homopolaires. — Un second point non moins intéressant que le premier, est l'abandon, d'ailleurs prévu plus d'un an avant l'ouverture de l'Exposition, du type dit « alternateur inducteur » ou à flux ondulé et bobine inductrice centrale.

Le nombre de machines de ce type se réduisait, en effet, à 8 au plus, présentées par les ateliers d'Oerlikon près Zurich, la Société d'électricité Alioth de Bâle, et MM. Siemens et Halske de Vienne dans les sections étrangères, et par les ateliers du Creusot, les ateliers Farcot et la Société Gramme en France.

La seule raison d'être des machines à fer tournant avait été leur grande vitesse périphérique, particulièrement commode pour obtenir une largeur de pôles suffisante dans les alternateurs à grande vitesse angulaire. Des vitesses linéaires de 35 à 40 m : s étant employées maintenant dans les machines à pôles séparés grâce à l'adoption d'enroulements avec conducteurs à section carrée ou en bande de cuivre, les dynamos du type inducteur n'ont plus de chance d'être employées que pour l'obtention de vitesses linéaires comprises entre 50 et 100 m par seconde, comme celles que peut exiger la commande directe des alternateurs par turbine à vapeur.

Un alternateur de ce dernier genre, commandé par une turbine à vapeur Rateau, devait figurer dans la section française, dans l'exposition de MM. Sautter et Harlé. Malheureusement, ce groupe, dont les essais à l'usine ont donné toute satisfaction aux constructeurs, n'a pu être prêt à temps pour figurer à l'Exposition.

On peut objecter toutefois, qu'à l'Exposition, l'emploi presque unique pour la production de l'électricité sous forme de courants alternatifs, de grosses unités à faible vitesse angulaire, éliminait à priori ce type de machine.

Cette objection est valable ici, si l'on remarque que les alternateurs à fer tournant cités sont tous, sauf un, à vitesses angulaires assez élevées et sont destinés à être commandés par moteurs à vapeur à grande vitesse, par turbines ou par courroies. La seule exception est celle fournie par l'alternateur de MM. Farcot de Saint-Ouen, où l'emploi d'un inducteur homopolaire est justifié par la réalisation d'une machine assez lourde supprimant l'adjonction d'un volant séparé dans la commande des alternateurs directement accouplés à des moteurs monocylindriques et destinés à fonctionner en parallèle avec d'autres machines.

Quoiqu'il en soit, ce type d'alternateur tend à disparaître de plus en plus à cause des nombreux inconvénients, très connus maintenant, qu'il présente.

Vitesse angulaire des alternateurs. — Comme nous venons de le dire, la plupart des machines à courants alternatifs exposées sont à faible vitesse angulaire. A part les alternateurs à flux ondulé déjà cités, ainsi que quelques alternateurs à pôles alternés de puissance ne dépassant pas 300 kilovolts-ampères et commandés par courroies, les alternateurs exposés à Paris, sauf deux, ont des vitesses angulaires ne dépassant pas 126 tours par minute.

Tous ces alternateurs à faibles vitesses angulaires sont naturellement accouplés directement ou calés sur l'arbre des moteurs à vapeur qui les conduisent.

Alternateurs à faibles vitesses angulaires. — Dans l'établissement d'un alternateur à faible vitesse angulaire et à commande directe, le poids de la partie tournante, déterminé par les conditions électriques et mécaniques ordinaires, est insuffisant pour assurer au moteur à vapeur un coefficient d'irrégularité convenable pour le bon fonctionnement de la machine, soit seule sur un réseau, soit en parallèle avec d'autres du même type.

On sait que 3 solutions sont généralement employées pour concilier les conditions de bonne régularité des moteurs à vapeur avec la construction des alternateurs.

Ces trois solutions sont les suivantes :

1° On peut *habiller* la dynamo ou tout au moins la partie tournante de façon à rendre celle-ci suffisamment lourde pour obtenir un moment d'inertie convenable. Ceci revient surtout à donner à l'inducteur des proportions beaucoup plus grandes que n'en exigeraient les conditions magnétiques seules.

En particulier, même dans la commande par machines jumelées, le rapport entre la largeur utile de la machine parallèlement à l'axe et la largeur de la jante descend quelquefois jusqu'à près de un quart.

2° Une seconde solution plus simple consiste à adjoindre un volant spécial à l'inducteur.

3° Il est possible, enfin, d'employer un genre de dynamo utilisant complètement la jante du volant au point de vue magnétique.

Ces trois solutions, les deux premières surtout, étaient représentées à l'Exposition.

Il est difficile de dire à priori quelle est la meilleure, car elle dépend encore de la fréquence; on peut cependant prévoir que, par suite de l'emploi de moteurs à vapeur à vitesse angulaire forcée, comme on a tendance de le faire actuellement, la deuxième solution, à cause de sa simplicité, sera la plus communément employée dans l'avenir. Elle est, du reste, en parfait accord avec l'économie des matériaux dans la construction des alternateurs.

Toutefois, les alternateurs sans volants auxiliaires et à induit intérieur, qui n'étaient représentés à l'Exposition que par deux machines, celles du groupe russe Bromley-Brown-Boveri et celle du groupe suisse Sulzer-Rieter, fournissent également une solution très économique qui serait préférable dans beaucoup de cas à la solution par volant séparé, si elle n'avait l'inconvénient d'exiger une manœuvre assez longue pour le dégagement de l'induit et principalement de sa partie inférieure.

Quoi qu'il en soit, même pour des vitesses angulaires de 125 tours par minute (alternateurs Ganz), la première solution était, dans les groupes exposés, généralement préférée à la seconde.

Vitesses linéaires des alternateurs. — L'emploi de faibles vitesses angulaires, emploi imposé, comme on vient de le voir, par les considérations de commande directe par moteurs à vapeur, a pour conséquence l'adoption de vitesses linéaires dépassant rarement 30 m : s; dans beaucoup de cas même, la vitesse n'atteint pas 25 m : s.

Même avec ces vitesses linéaires assez faibles, la largeur du pôle, perpendiculairement à l'axe, est encore relativement grande; aussi les largeurs des machines parallèlement à l'axe sont généralement assez réduites, ce qui a pour effet, lorsque la carcasse de l'induit n'est pas beaucoup plus large que la largeur utile de la dynamo, de donner à celle-ci une forme élancée généralement séduisante à l'œil ; tels sont les alternateurs de la Société Helios, de la Société Electricité et Hydraulique de Charleroi, des ateliers du Creusot, de MM. Kolben et Ce, etc., etc...

Nature des pôles inducteurs et chute de tension. — La majorité des constructeurs paraissent s'être préoccupés tout spécialement de la chute de tension.

C'est en effet une des questions à l'ordre du jour dans la construction des alternateurs et l'Exposition Universelle de Paris nous a paru très instructive à ce sujet.

Il est admis à l'heure actuelle que la valeur d'une machine à courants alternatifs, à part bien entendu certains cas particuliers, dépend de sa chute de tension, non seulement sur résistances non inductives, mais encore et surtout sur résistances inductives. Les valeurs généralement admises sont d'environ 5 p. 100 pour les charges non inductives et de 15 p. 100 pour celles présentant des facteurs de puissance assez divers suivant les cas ; quelques machines atteignent même une chute de tension assez voisine de 10 p. 100 seulement ; parmi celles-ci, il faut citer l'alternateur triphasé de la Société l'Eclairage Electrique qui n'a que 11 p. 100 de chute de tension avec un facteur de puissance de 0,5 seulement, celui de MM. Kolben et Ce qui a 7 p. 100 avec un facteur de puissance de 0,9 et ceux de la Société Electricité et Hydraulique dont la chute de tension est de 10 p. 100 environ avec un facteur de puissance de 0,85.

La question de la chute de tension est forcément liée avec la constitution des noyaux et des pièces polaires, aussi la plupart des alternateurs à faible chute de tension ont-ils des inducteurs pleins en acier.

Pour tous, la saturation dans le circuit magnétique inducteur est assez élevée et le point correspondant à la marche à vide est toujours sur le genou de la courbe de magnétisation ou un peu au-dessus.

Parmi les constructeurs qui ont conservé l'emploi des tôles feuilletées pour les inducteurs, deux : l'Allgemeine Elektricitäts-Gesellschaft, de Berlin, et MM. Farcot, de Saint-Ouen, peuvent être mis à part par suite de la présence des circuits amortisseurs Hutin et Leblanc destinés à faciliter le maintien des alternateurs en synchronisme dans le fonctionnement en parallèle.

Les autres constructeurs, utilisant les inducteurs feuilletés dans les alternateurs à pôles séparés, sont : les ateliers d'Oerlikon, la Compagnie de Fives-Lille, MM. Siemens et Halske, de Berlin, la Compagnie française Thomson-Houston, la Société Alsacienne de Constructions Mécaniques, M, Maurice Leblanc et MM. Boucherot et Cie.

Si l'on en excepte ces deux derniers, par suite de l'asynchronisme de leurs alternateurs, on voit que l'emploi des inducteurs feuilletés est peu fréquent maintenant.

Les pôles en acier jouent de plus un rôle important pour le fonctionnement en synchronisme, car leur effet est, comme celui des amortisseurs Hutin et Leblanc, de diminuer les mouvements pendulaires au prix toutefois d'une plus grande perte d'énergie.

Un seul alternateur triphasé à pôles alternés, celui de MM. Kolben et Cie, de Prague, a des épanouissements polaires en tôles feuilletées, nécessités, du reste, par l'emploi de rainures assez larges dans l'induit.

Alternateurs compounds. — A la question de la chute de tension peut être rattachée celle du compoundage des alternateurs.

Les partisans du compoundage reprochent à ceux des alternateurs à faible chute de tension, et par suite, à pôles très saturés, la mauvaise utilisation de l'induit par suite du faible poids de cuivre employé sur cette partie des alternateurs, relativement au poids total de cuivre, et proposent l'emploi de machines à faible entrefer et à répartition du cuivre en parties à peu près égales sur l'induit et sur l'inducteur.

Une seconde raison qui milite en faveur du compoundage est celle presque inséparable de l'asynchronisme, c'est-à-dire, du fonctionnement en multiple des alternateurs sans que ceux-ci soient astreints à conserver le synchronisme.

Deux solutions du problème général du compoundage et de l'asynchronisme ont été présentées à l'Exposition : l'une, par M. Maurice Leblanc, dont les travaux en électricité industrielle ont fait depuis dix ans l'admiration des électriciens du monde entier, et l'autre par M. Paul Boucherot, également connu par ses nombreux travaux sur les courants alternatifs.

Une troisième solution : celle de M. Blondel, une des personnalités les plus écoutées du monde électrique, devait aussi figurer dans l'exposition de MM. Sautter et Harlé et appliquée à l'alternateur à grande vitesse linéaire dont nous avons parlé plus haut.

Entrefers. — Les entrefers employés sont assez variables; réduits à de simples jeux imposés par les conditions mécaniques dans certaines machines à pôles séparés, ils ont une importance assez grande dans d'autres.

Dans beaucoup d'alternateurs, l'entrefer n'est pas uniforme sous les épanouissements polaires; ceux-ci présentent de légers chanfreins ou sont arrondis de façon à réaliser une meilleure répartition de l'induction pour l'obtention d'une tension aussi sinusoïdale que possible et éviter l'emploi d'un grand nombre d'encoches.

Parmi les maisons qui ont employé couramment les pièces polaires avec rebords abattus, il faut citer MM. Ganz et Cie, la Société l'Éclairage Électrique, les ateliers du Creusot, les ateliers d'Oerlikon (alternateur à fer tournant), la Compagnie Thomson-Houston, etc.

Forme des encoches. — Tous les alternateurs exposés sont à induit denté ; les alternateurs sans fer, comme les alternateurs à induit lisse, ont complètement disparu du marché.

En général, les encoches sont ouvertes, soit sur leur largeur complète, de façon à former de simples rainures, pour permettre le bobinage sur gabarit, soit sur une faible partie de cette largeur.

Quelques constructeurs, cependant, conservent les induits à trous, ce sont : MM. Brown-Boveri et Cie, de Baden-Baden, la Société l'Éclairage Électrique, la Société Électricité et Hydraulique et M. J. Rieter, de Winterthur, etc. Les isthmes séparant les trous de l'entrefer sont très réduits, principalement dans l'alternateur Brown-Boveri et Cie.

Les encoches, qu'elles soient ouvertes ou fermées, ont généralement une forme rectangulaire avec angles plus ou moins arrondis, du côté de l'entrefer seulement : alternateur Heyland, alternateur Grammont (matériel Routin), ou des deux côtés à la fois.

Quelques machines font exception à cette règle et ont des encoches ou des trous circulaires.

Ce sont celles : de la Société anonyme de Francfort-sur-le-Mein, ci-devant W. Lahmeyer et Cie, de la Société l'Éclairage Électrique (alternateur de 30 000 volts), de MM. Brown-Boveri et Cie (alternateur à inducteur extérieur), de M. Krizik, de Prague, etc..

Nombre d'encoches par phase. — Il semble que peu de constructeurs se soient réellement préoccupés de l'amélioration de l'induit au point de vue de la dispersion. L'importance de la dispersion est cependant le facteur prépondérant dans la chute de tension sous charges fortement inductives, et la diminution de la dispersion dans les induits doit, à notre avis, marcher de front avec la saturation des inducteurs puisque une faible diminution de la première peut donner lieu à une diminution importante du courant d'excitation pour la marche en charge.

La dispersion dans les alternateurs est analogue, jusqu'à un certain point, à celle des moteurs d'induction et sa diminution peut s'obtenir, non seulement par celle des ampèretours par centimètre de l'induit, comme on l'admet habituellement, mais encore, toutes choses égales d'ailleurs, par la division de l'induit en un plus grand nombre d'encoches par pôle.

Cette idée a été utilisée très heureusement dans l'alternateur de l'Allgemeine Elektricitäts Gesellschaft où l'induit comprend 15 encoches par pôle, soit 5 par phase.

Il est bon de citer aussi l'alternateur Ganz du groupe autrichien et celui de MM. Siemens et Halske, de Berlin, qui ont chacun 3 encoches par pôle et par phase, ainsi que les alternateurs à induit mobile de MM. Siemens et Halske, de Vienne, et de la compagnie de Fives-Lille.

Tous les autres alternateurs ont des nombres d'encoches par pôle et par phase de 2,5 (Ganz) 2 et 1.

Enroulements d'induit. — L'emploi des grosses unités rend possible celui des barres avec développantes pour l'enroulement de l'induit dans les alternateurs à haute tension.

Deux constructeurs dont les alternateurs à courants triphasés sont, du reste, les deux plus puissants de l'Exposition, l'Allgemeine Elektricitäts Gesellschaft et MM. Siemens et Halske, de Berlin, ont utilisé des barres avec développantes pour l'enroulement de l'induit.

Le dispositif d'enroulement de l'Allgemeine Elektricitäts Gesellschaft est un des plus ingénieux et réalise un des progrès les plus sérieux qu'il nous ait été permis de constater à l'Exposition.

Les alternateurs à basse tension sont tous, sauf un (celui de M. Krizik, de Prague), munis d'enroulements en barre.

Le montage le plus adopté pour le groupement des phases est celui en étoile. Quelques maisons, MM. Ganz et Cie en particulier, emploient généralement la disposition en triangle.

Un seul, enfin, celui de MM. Siemens et Halske, de Vienne (alternateur à pôles séparés), est muni de deux enroulements, un en étoile et un en triangle aboutissant aux mêmes bornes. Ce dispositif est employé pour permettre d'obtenir deux tensions différentes et pour rendre la machine auto-excitatrice suivant le procédé imaginé par M. G. Ossanna.

La disposition la plus adoptée pour l'enroulement induit par bobine est la disposition ordinaire bien connue ; il y a cependant une tendance à placer toutes les bobines d'une même phase de la même façon, de manière à éviter les erreurs de connexions.

Parmi les alternateurs à enroulement de ce genre, on peut citer ceux de MM. Brown-Boveri et Cie, de MM. Ganz et Cie et des ateliers du Creusot, etc.

La plupart des constructeurs ont adopté la disposition par bobines larges, c'est-à-dire, celle correspondant à une bobine complète par paire de pôles et par phase.

Un, cependant, emploie des bobines étroites, c'est-à-dire une bobine par pôle et par phase sans enchevêtrement, c'est la Société l'Éclairage Électrique.

Tension des alternateurs. — La tension employée dans les machines exposées dites à haute tension est presque toujours de 2 200 volts aux bornes ; mais cela tient uniquement aux réglements élaborés par le service électrique de l'Exposition, qui a préconisé, de préférence, ce dernier voltage.

En réalité, la tension des alternateurs exposés varie généralement entre 2 000 et 6 000 volts; toutefois, un alternateur à 7 500 volts a été exposé par les ateliers d'Oerlikon et un autre à

30 000 volts, qui constitue le record de la haute tension à l'Exposition, existait dans le stand de la Société l'Eclairage Électrique, de Paris.

Pour les alternateurs à bas voltage, la tension généralement adoptée est aux environs de 200 volts. Une seule exception est celle de l'alternateur de l'Allmänna Swenska Elektrisca Aktiebolaget dont la tension est de 800 volts.

Moteurs a vapeur. — L'aperçu général que nous venons de donner sur les alternateurs exposés à Paris serait incomplet, si nous ne disions quelques mots sur les moteurs à vapeur qui les commandaient.

Parmi les conditions exigées par les électriciens pour la commande de leur matériel, deux sont particulièrement importantes : ce sont celles de la possibilité de l'accouplement en parallèle et celle d'une marche économique, même avec le fonctionnement sous charge à facteur de puissance variable suivant les différentes heures de la journée.

La question du fonctionnement en parallèle des alternateurs n'a pas cessé d'être étudiée depuis dix ans ; à l'heure actuelle, avec les perfectionnements réalisés dans la construction et dans la conception des dynamos ordinaires à courants alternatifs, on en est venu à ne plus voir dans le problème du couplage des alternateurs modernes qu'une question d'ordre purement mécanique. On admet, en général, que les seules difficultés à réaliser sont d'obtenir :

1° Une constance suffisante de la fréquence, ou ce qui revient au même, un coefficient d'irrégularité du moteur à vapeur (rapport entre la demi-variation de vitesse instantanée et la vitesse moyenne par tour) assez petit.

2° Une action très prompte du régulateur et une chute de vitesse convenable lorsqu'on passe de la marche à vide à la marche en charge.

Cette seconde condition, indispensable pour le bon fonctionnement en parallèle, a pour but, en somme, de permettre d'imposer aux alternateurs une charge déterminée et de diminuer par suite les réactions qui doivent s'exercer entre les deux alternateurs pour le maintien du synchronisme.

La valeur de la variation de vitesse qui doit être imposée entre la marche à vide et la marche en charge, dépend beaucoup des aptitudes *électriques* au couplage des alternateurs employés et du coefficient d'irrégularité des moteurs à vapeur.

En général, une variation de vitesse supérieure à 6 p. 100, 3 p. 100 en plus ou en moins, est nécessaire pour le bon fonctionnement en parallèle. L'importance de cette variation de vitesse, ainsi d'ailleurs que la possibilité de pouvoir faire varier la vitesse dans la même proportion avec une charge constante, exige l'emploi d'un dispositif spécial pour obtenir une fréquence sensiblement constante.

Ce réglage de la fréquence se fait de deux manières, soit par l'action d'un dispositif adapté au régulateur lui-même, soit par étranglement de la vapeur dans la conduite d'amenée.

Le premier procédé est le plus généralement adopté ; la variation de vitesse a été presque toujours jusqu'ici obtenue par une manœuvre à la main ; il y a cependant maintenant quelques constructeurs qui ont tenté, avec succès, une manœuvre électrique du dispositif, commandée du tableau de distribution.

On conçoit facilement, d'après ce que nous venons de dire, que la partie la plus délicate à étudier dans les moteurs à vapeur, pour le bon fonctionnement en parallèle, est le régulateur.

La rapidité d'action du régulateur tend à éliminer à priori l'emploi de moteurs à plusieurs détentes, à moins toutefois que l'action du régulateur se fasse sentir simultanément sur l'admission dans les différents cylindres, ce qui est très rarement le cas.

Nous ne voulons pas dire ici cependant que l'emploi des moteurs à vapeur à détente multiple rende impossible le fonctionnement en parallèle, nous pensons seulement que ce fonctionnement est rendu moins stable à égalité de variation de vitesse entre la marche à vide et la marche en charge, non par suite de la paresse naturelle du régulateur, mais à cause de la lenteur avec laquelle son action se fait sentir sur les différents cylindres, le régulateur n'agissant que sur la

****

détente dans le cylindre à haute pression dans les moteurs à expansion multiple, tandis qu'il agit sur la totalité de cette détente dans les machines dites monocylindriques.

On a quelque peu médit des moteurs monocylindriques dans ces derniers temps. Sans vouloir faire ici une étude comparée des divers types de machines à vapeur, nous pouvons néanmoins rappeler que les moteurs monocylindriques présentent dans certains cas des avantages incontestables. La consommation de vapeur par cheval indiqué en pleine charge y est, en effet, peu différente de celle consommée dans les moteurs à plusieurs détentes, tandis que le rendement mécanique en est beaucoup meilleur par suite du plus petit nombre d'organes.

En outre, les machines monocylindriques ont ce grand avantage que leur consommation par cheval indiqué ne varie que très peu pour une grande variation de la puissance développée.

Il en résulte que l'emploi de ces machines est désirable pour la commande des alternateurs des stations centrales, à cause de la variation assez considérable de puissance aux différentes heures de la journée, et de la nécessité de fournir les courants déwattés destinés à l'excitation des transformateurs à vide, courants qui limitent la puissance vraie débitée par les machines.

Il resterait à considérer la question du coefficient d'irrégularité.

La valeur de ce coefficient exigée par la plupart des constructeurs électriciens est de $\pm$ 1/200 au maximum ; dans ces conditions, l'importance du volant est, en général, telle que les turbines, les moteurs jumelés, compounds ou non, et les moteurs à détentes multiples pourraient seuls être employés avec succès pour la commande des alternateurs destinés à fonctionner en parallèle.

A moins de dispositifs spéciaux permettant de réduire l'importance du volant pour le fonctionnement en parallèle, comme l'emploi des circuits amortisseurs Leblanc, la question du coefficient d'irrégularité seule empêche les machines à un seul cylindre d'être, en général, peu employées pour la conduite des alternateurs.

Le meilleur moyen de concilier les conditions de bonne régularité et de bon fonctionnement en parallèle ainsi que de rendement moyen élevé dans la commande des alternateurs est d'employer des moteurs à vapeur jumelés avec les deux cylindres à la même pression. Cette solution n'était, il est vrai, représentée par aucune maison à l'Exposition. La raison doit en être cherchée dans ce qu'aucun constructeur n'exposait, ou plus exactement, ne sollicitait de récompense pour le groupe complet, mais pour chacun des éléments séparés, même parmi les maisons s'occupant à la fois de constructions mécaniques et électriques.

Les moteurs commandant les alternateurs étaient, en somme, de tous types : monocylindriques, compound-tandem ou conjugués, machines à triple expansion, etc...

Quelques constructeurs de moteurs à vapeur se sont intéressés particulièrement à la question de la commande des alternateurs avec charges très variables, tel est, en particulier, le cas pour la maison Sulzer frères de Winterthur dans un moteur actionnant l'alternateur Rieter.

Classification des alternateurs. — La classification des alternateurs que nous ferons ici est surtout destinée à grouper les générateurs à courants alternatifs exposés à Paris et n'aura par suite aucune prétention à la généralité.

La classification par la nature de l'induit, qui a été adoptée bien souvent, nous paraît devoir être abandonnée d'une façon générale par suite de la disparition des types d'alternateurs à induit sans fer et à induit à anneau, lisse ou non.

La classification que nous préconisons pour les alternateurs modernes a pour base la nature de l'inducteur eu égard au mode de production de la force électromotrice induite.

Nous diviserons donc les alternateurs en deux grands groupes :

I. Alternateurs à flux magnétique renversé, ou à pôles alternés ou hétéropolaires ;

II. Alternateurs à flux magnétique ondulé, ou à saillies polaires ou homopolaires.

Le premier groupe peut se subdiviser en deux sous-groupes ou sections suivant la forme des pôles inducteurs :

1° Alternateurs à pôles inducteurs saillants ;

2° Alternateurs à pôles inducteurs continus.

Les alternateurs de la deuxième section sont généralement asynchrones, c'est-à-dire ne sont pas assujettis à tourner en synchronisme lors de leur fonctionnement en parallèle avec d'autres alternateurs.

Chacun des 2 sous-groupes d'alternateurs peut à son tour se diviser en plusieurs classes suivant la constitution du circuit magnétique ou plus exactement des pôles inducteurs et des épanouissements polaires.

Nous distinguerons trois classes principales correspondant aux différentes constitutions de ces parties.

a. Alternateurs à pôles et épanouissements pleins ;

b. Alternateurs à pôles et épanouissements feuilletés ;

c. Alternateurs à pôles pleins et épanouissements feuilletés.

Dans chacune des classes d'alternateurs nous séparerons ceux-ci d'abord suivant la nature des perforations, puis suivant la fixité ou la mobilité de l'induit et enfin d'après le nombre de phases.

Les familles ainsi obtenues seront ensuite divisées d'après le nombre de perforations par pôle et par phase.

(*A suivre*.) C.-F. Guilbert.

THÉORIE GRAPHIQUE

DE LA

RÉGULATION DES CONVERTISSEURS ROTATIFS[1]

§ II. Détermination de l'excitation du convertisseur.

Les considérations précédentes ont eu pour résultat de fixer les conditions d'alimentation du convertisseur, et en particulier de la réactance, en vue de pouvoir obtenir pour celui-ci une variation de tension donnée avec la charge sans dépasser un certain maximum de courant déwatté, et même en se rapprochant du minimum de ce courant. Il reste maintenant à résoudre la seconde partie du problème, à savoir la détermination des ampères-tours inducteurs, enroulés soit en série, soit en dérivation, qui permettent au convertisseur de suivre approximativement cette loi de variation grâce au jeu des courants déwattés.

Dans ce qui suit, nous supposerons d'abord exclusivement que l'on se trouve dans les conditions ordinaires d'un convertisseur travaillant sans décalage à sa charge moyenne et étant par conséquent parcouru aux charges plus faibles par un courant positif déwatté (en retard de $\frac{\pi}{2}$ sur la force électromotrice), et par suite magnétisant [2]. C'est le cas étudié dans tout ce qui précède.

Éléments caractéristiques du convertisseur. — Ici doivent intervenir les propriétés magnétiques de la machine, qui se traduisent par deux éléments essentiels nouveaux.

---

(1) Voir *L'Éclairage Électrique* du 9 novembre, p. 206.

(2) Il est facile de voir que tout courant déwatté *en retard* par rapport à la force électromotrice extérieure E, est un courant décalé en avance par rapport à la force électromotrice intérieure $\mathcal{E}$, puisque E et $\mathcal{E}$ sont à peu près en opposition.

Il tend donc à renforcer la force électromotrice $\mathcal{E}$ d'après ce qu'on sait des alternateurs en général.

1° La caractéristique d'excitation, c'est-à-dire la courbe de variation de la force électromotrice induite en fonction des ampères-tours inducteurs placés sur les bobines excitatrices. Cette courbe est supposée connue par des essais d'atelier : les forces électromotrices induites sont portées en ordonnées et les ampères-tours excitateurs en abscisses (fig. 15).

2° La force magnétomotrice équivalente de l'induit, c'est-à-dire le chiffre des ampères-tours, qui, placés sur les inducteurs, produiraient même force magnétomotrice dans le circuit magnétique que le courant déwatté I_d circulant dans l'induit.

Ces ampères-tours moyens équivalents peuvent être représentés comme dans un alternateur par l'expression,

$$K \frac{N'}{2} I_d \sqrt{2},$$

en appelant N' le nombre de *fils* périphériques de l'induit par champ double (c'est-à-dire dans un circuit magnétique), K un coefficient de réduction qui dépend du nombre de phases et d'encoches et de la largeur des pôles, et I_d l'intensité *efficace* du courant déwatté.

On détermine K par le calcul en faisant $I_d = 1$ ampère avec un décalage nul, et en calculant le potentiel magnétique moyen produit sous un pôle.

On le mesure expérimentalement avec une approximation généralement suffisante (parce que la réactance de fuite ωs est sensiblement négligeable) en faisant tourner à la vitesse normale le convertisseur par l'effet d'une force extérieure et en lui faisant alimenter (du côté alternatif), avec son voltage normal, un circuit extérieur purement inductif (formé de self-inductions donnant un $\cos \varphi$ au plus égal à 0,20) ; la différence entre la tension aux bornes $\mathcal{E}$ sous cette charge et celle e qu'on mesure à circuit ouvert sous la même excitation mesure en volts la réaction d'induit correspondant au courant débité.

Si l'on reporte e et $\mathcal{E}$ en ordonnées sur la courbe d'excitation, la différence des abscisses A et a (fig. 15) mesure (en négligeant toujours les fuites) les ampères-tours équivalents de l'induit. Il suffit de diviser $A - a$ par le courant efficace I_d débité dans l'expérience multiplié par $\sqrt{2}$ et par le nombre de spires $\frac{N'}{2}$ pour obtenir K

$$K = \frac{A - a}{\frac{N'}{2} I_d \sqrt{2}}. \qquad (16)$$

Étude d'une excitation compound ; différents éléments de l'excitation. — L'excitation des convertisseurs est prise aux bornes du secondaire ; elle peut être faite évidemment soit en dérivation, soit en série, soit en compound.

Soit $\mathcal{E}_2$ la tension secondaire aux bornes, I_2 le courant débité, n le nombre de spires de l'excitation en série, r la résistance d'une spire de l'enroulement shunt, les ampères-tours en shunt et en série seront respectivement

$$\frac{\mathcal{E}_2}{r} \quad \text{et} \quad nI_2$$

Ce sont eux qui, concurremment avec les ampères-tours équivalents de l'induit, déterminent l'excitation totale.

Dans le cas le plus général, celui d'un convertisseur compound, la question est donc fort complexe, puisqu'il y a trois éléments variables, le premier avec la tension, le second avec le courant débité, et le troisième avec le courant déwatté.

Comme on l'a vu plus haut, les ampères-tours secondaires sont proportionnels aux ampères-tours primaires utiles $I_w - j_0$.

D'autre part, si l'on appelle ξ le rapport de transformation, c'est-à-dire le rapport de la force électromotrice primaire à la force électromotrice secondaire, comme la résistance de l'induit est déjà par hypothèse comptée une fois dans le circuit d'alimentation, on n'a plus à la compter

ici, et on peut poser :

$$\text{Ampères-tours de l'excitation dérivée } A_d = \left(\frac{1}{\xi r}\right)\mathcal{E}, \tag{17}$$

$$\text{Ampères-tours de l'excitation (1) en série } A_s = nI_2 = \left(\frac{\pi k n}{\sqrt{2}}\right)(I_w - j_0), \tag{18}$$

$$\text{» \quad déwattés, produits par l'armature } A_a = \left(\frac{KN'}{\sqrt{2}}\right) I_d. \tag{19}$$

Les forces magnétomotrices se trouvent ainsi exprimées directement en fonction des éléments des courants primaires, ce qui va nous permettre de calculer les excitations à chaque régime.

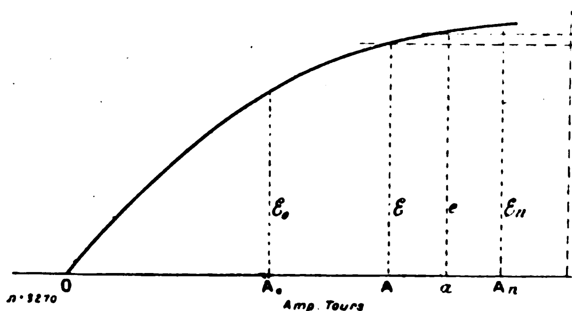


Fig. 15.

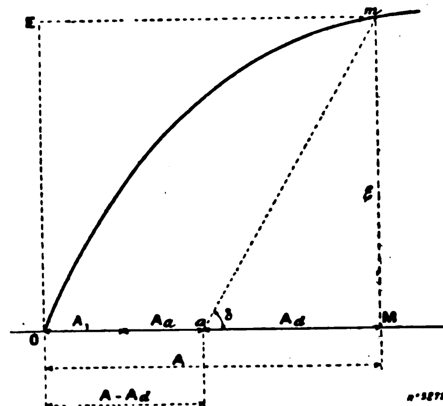


Fig. 16.

Si l'on compte toujours comme positifs les courants déwattés en retard, (qui sont magnétisants), le nombre total des ampères-tours inducteurs au régime $\mathcal{E}\, I_w$ est donc

$$A = \frac{\mathcal{E}}{\xi r} + \frac{\pi k n}{\sqrt{2}}(I_w - j_0) + \frac{KN'}{\sqrt{2}} I_d. \tag{20}$$

Nous mettons le signe + devant les ampères-tours déwattés parce que, dans les conditions d'alimentation normales étudiées plus haut, le courant déwatté est dirigé à droite de D, c'est-à-dire *positif et magnétisant* entre la charge à vide et la charge normale, puis démagnétisant au delà. Nous affectons les ampères-tours en série du signe + parce qu'en général cet enroulement doit être concordant avec l'enroulement shunt, comme on le verra plus loin.

Les constantes inconnues r et n des enroulements sont faciles à prédéterminer, quand on connaît les forces électromotrices $\mathcal{E}_0$ et $\mathcal{E}_m$ à réaliser à vide et à la charge moyenne I_m où le décalage est nul. Soit en effet sur la caractéristique A_0 et A_m les ampères-tours correspondant à $\mathcal{E}_0$ et à $\mathcal{E}_m$; on aura pour le second régime

$$\frac{1}{\xi r}\mathcal{E}_m + \frac{\pi k n}{\sqrt{2}}(I_m - j_0) = A_m, \tag{21}$$

(1) D'après l'égalité du premier paragraphe (relation entre le courant alternatif I_w et le courant continu débité I_2)

$$I_2 = \frac{\pi K}{\sqrt{2}} I_w,$$

dans laquelle on remplace, pour plus de précision, I_w par $I_w - j_0$. Si l'induit portait deux enroulements différents, on multiplierait le rapport par celui des nombres des spires de ces deux enroulements $\frac{N}{N_2}$.

et pour le premier

$$\frac{1}{\xi r}\,\mathcal{E}_0 + \frac{KN'}{\sqrt{2}}\,i_0 = A_0. \tag{22}$$

Si l'on se donne le courant déwatté à vide, dont la valeur ne peut descendre au-dessous d'un certain minimum comme on l'a expliqué plus haut, la seconde équation détermine la conductance $\frac{1}{r}$ d'une spire de shunt

$$\frac{1}{r} = \frac{\xi}{\mathcal{E}_0}\left(A_0 - \frac{KN'i_0}{\sqrt{2}}\right), \tag{23}$$

et la première donne ensuite le nombre de spires en série

$$n = \frac{A_m - \frac{\mathcal{E}_m}{\xi r}}{\pi k(I_m - j_0)}\sqrt{2} = \frac{\left(A_m - \frac{\mathcal{E}_m}{\mathcal{E}_0}A_0\right)\sqrt{2} + \frac{\mathcal{E}_m}{\mathcal{E}_0}KN'i_0}{\pi k(I_m - j_0)}. \tag{24}$$

On voit de plus que les ampères-tours en dérivation, proportionnels à $\frac{\mathcal{E}_m}{r}$, sont plus petits que les ampères-tours totaux A_0 (en supposant $\mathcal{E}_m > \mathcal{E}_0$) et qu'ils décroissent quand croît le courant déwatté i_0 tandis que les ampères-tours en série, proportionnels à $n\ (I_m - j_0)$, croissent avec ce courant i_0.

Détermination du courant déwatté en fonction de l'excitation a courant watté constant, puis a puissance constante, sous une force électrotrice constante de la génératrice. — Supposons, comme pour les moteurs synchrones, le convertisseur alimenté par une force électromotrice constante E, et excité par un courant inducteur réglable à volonté.

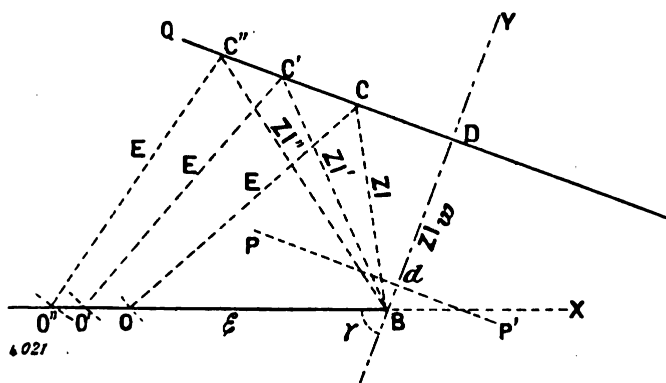


Fig. 17.

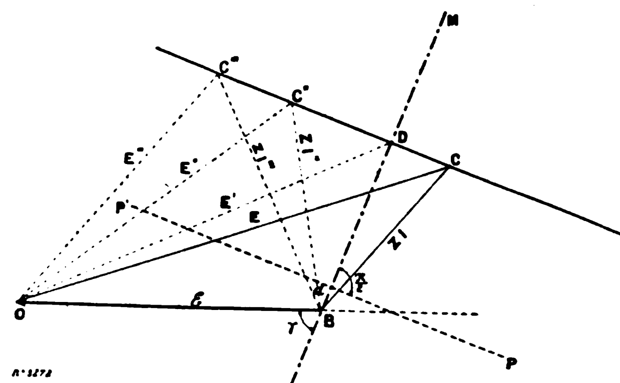


Fig. 17 *bis*.

L'épure fondamentale (fig. 2) combinée avec la courbe précédente (fig. 16) permettra d'abord aisément de trouver, pour chaque valeur du courant watté I_w, les valeurs du courant déwatté correspondantes à chaque valeur de l'excitation, exprimée en ampères-tours.

En effet, soit par exemple I_w le courant watté donné, et BD la ligne de repère, tracée grâce à la connaissance supposée acquise du coefficient γ. Le lieu du point C, caractéristique du régime, pour cette valeur constante de I_w est la droite DQ tracée perpendiculairement à BD, à la distance $BD = ZI_w$, tandis que le lieu du point O, seconde extrémité du vecteur E, est la ligne OBX.

Tous les régimes correspondant au courant watté I_w seront donc obtenus en traçant de tous les points C, C', C''... de la première droite des arcs de cercle de rayon E coupant la seconde en O, O', O''... Les segments BO, BO', BO'' ainsi formés mesurent les valeurs des forces électromotrices intérieures $\mathcal{E}$, $\mathcal{E}'$, $\mathcal{E}''$... correspondantes, et les segments DC, DC', DC''..., divisés par Z, mesurent les valeurs du courant déwatté I_d.

Pour chaque paire de valeurs de $\mathcal{E}$ et I_d ainsi déterminées, on obtient les ampères-tours excitateurs A_e par la courbe d'excitation (fig. 16) en retranchant des ampères-tours résultant A correspondant à l'ordonnée $\mathcal{E}$ de cette courbe les contre ampères-tours de l'induit; d'où

$$A_e = A \mp \frac{KN'}{\sqrt{2}} I_d.$$

Il ne faut pas oublier que le courant déwatté I_d est démagnétisant et positif s'il est compté à droite de l'axe BD, et négatif et magnétisant s'il est compté à gauche. Le signe supérieur s'applique au premier cas et le signe inférieur au second.

Cela posé, l'épure permet maintenant de déterminer le lieu des points C et les variations de E à puissance constante, si l'on maintient la force électromotrice de la génératrice constante, comme dans le cas des moteurs synchrones. On a en effet ici simplement

$$P = \mathcal{E} I_w$$

de sorte que pour chaque valeur de I_w, et par conséquent pour chaque position de la droite DQ, la valeur de $\mathcal{E}$, et par suite la position du point O, sont connues, et on peut aussitôt tracer de ces points des cercles de rayons E, dont les intersections respectives avec les droites DQ donnent les points C cherchés. On pourra ainsi tracer les courbes en V analogues à celles des moteurs synchrones et les courbes des valeurs de $\mathcal{E}$ correspondantes. Mais, ces régimes à puissance constante ne présentent plus pour les convertisseurs le même intérêt pratique que pour les moteurs, car la variation de $\mathcal{E}$ serait fort gênante.

Différentes valeurs de l'excitation a puissance constante et potentiel constant. Courbes en V a tension constante. — L'épure précédente (fig. 16 et 17) donne aussi la solution immédiate du problème plus pratique [1] qui consiste à déterminer les intensités du courant I correspondant aux différentes excitations, sous puissance constante *et sous tension secondaire aux balais constante*. C'est le même problème que le précédent, avec cette modification que ce n'est pas la différence de potentiel aux bornes qu'on doit ici supposer constante, mais la force électromotrice induite $\mathcal{E}$.

Le lieu du point C est encore la droite CD elle-même. Mais nous ajoutons la condition que le segment OB reste constant; le point O devient donc invariable (fig. 17 *bis*).

Pour chaque position du point C, le segment CB correspondant indique le courant, et OC la force électromotrice nécessaire à la génératrice.

Si l'on porte les forces électromotrices en abscisses et les courants en ordonnées, on obtient des courbes en forme de V (fig. 18) indépendantes du bobinage inducteur et de la loi de saturation, grâce à l'hypothèse de $\mathcal{E}$ constant.

Mais il est plus intéressant de prendre comme variable en abscisses, comme pour les moteurs synchrones, les ampères-tours excitateurs, sans distinguer s'ils sont en série ou en dérivation; cela revient à supposer une excitation séparée.

Ces ampères-tours se déterminent pour chaque valeur du courant alternatif I en mesurant sur l'épure (fig. 13) le segment CD correspondant qui indique le courant déwatté I_d, et en retranchant des ampères-tours à vide OM capables de donner la force électromotrice $\mathcal{E}$ les ampères-tours magnétisants produits par l'induit

$$A_a = \left(\frac{KN'}{\sqrt{2}}\right) I_d,$$

comptés avec le signe + ou le signe — suivant que I_d est positif ou négatif, c'est-à-dire que le point C est à droite ou à gauche de D.

[1] Le cas que l'on considère est le cas d'utilisation. Mais ce n'est encore qu'un cas théorique, puisqu'on suppose la force électromotrice maintenue rigoureusement constante et on verra plus loin qu'on ne peut réaliser cette condition qu'approximativement. Dans le cas général on fera donc varier à la fois $\mathcal{E}$ et E.

Si l'on porte les valeurs de l'excitation A ainsi déterminée en abscisses et les valeurs de I correspondantes en ordonnées, on obtient une courbe en V dont la fig. 19 indique le schéma et dont le coude correspond au régime sans décalage. En portant aussi en ordonnées les valeurs de E correspondantes, on obtient une seconde courbe en V, dont le coude est reporté beaucoup plus à droite, de sorte qu'elle se réduit dans la portion utile de l'épure à une branche descendante.

Ces courbes se prolongeraient à la gauche de l'origine, si l'on voulait considérer le cas d'excitations négatives. Pour chaque valeur de la puissance débitée on obtient une paire de courbes du même genre.

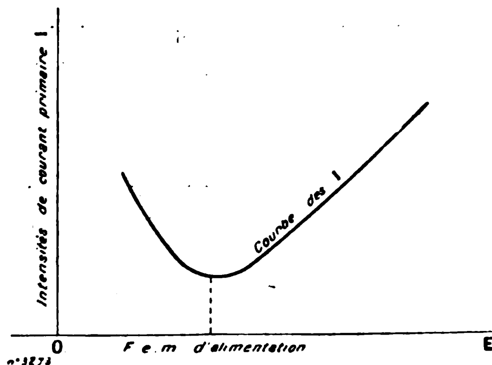


Fig 18.

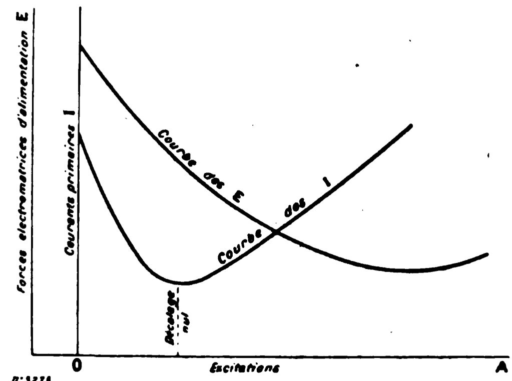


Fig. 19.

Limite supérieure du courant déwatté. — On a vu précédemment que le courant déwatté a une limite inférieure. Il a également d'après l'équation (23) une limite supérieure, celle qui rendrait l'excitation shunt nulle ; car on ne peut songer à une excitation shunt négative ; cette limite

$$i_0 = \frac{A_0\sqrt{2}}{KN'}, \qquad (24)$$

doit être supérieure à la limite minima, à moins que le nombre de spires sur l'induit ne soit exagéré.

Mais en fait il n'y a pas besoin de limite supérieure du courant déwatté puisqu'on cherche à le prendre aussi faible que possible pour réduire les inconvénients qu'il produit dans la distribution, c'est-à-dire l'exagération de E.

Ce qui doit achever surtout de déterminer la valeur à choisir pour i_0, c'est la condition qu'entre la marche à vide et la marche normale, la variation de voltage, qui détermine le jeu des enroulements inducteurs, soit celle qu'on a fixée pour l'exploitation et qui est représentée par la caractéristique d'alimentation définie plus haut.

Pour faire cette comparaison facilement, nous introduirons une notion commode, celle de la *caractéristique des décalages à tension constante du convertisseur*.

Caractéristique des décalages du convertisseur sous force électromotrice constante. — Supposons que, par un moyen quelconque, la tension aux balais du convertisseur soit maintenue constante ; il en sera de même de l'excitation dérivée, proportionnelle à cette tension, ainsi que des ampères-tours totaux qui produisent la dite tension.

On aura donc :

$$A = \text{constante}, \quad A_d = \text{constante};$$

et par suite

$$A_s + A_a = \text{constante } (A - A_d), \qquad (28)$$

ou

$$\frac{\pi kn}{\sqrt{2}}(I_w - j_0) + \frac{KN'}{\sqrt{2}} I_d = (A - A_d). \qquad (29)$$

Cette formule exprime tout simplement qu'à tension constante le transformateur peut fournir n'importe quel courant secondaire (proportionnel à I_w), qui traverse ses inducteurs en série, grâce à la réduction automatique du courant déwatté I_d qui prend de lui-même la valeur voulue pour rétablir toujours même force magnétomotrice totale A.

La relation entre $I_w - j_0$ et I_d est simplement linéaire. Si donc nous représentons (fig. 20)

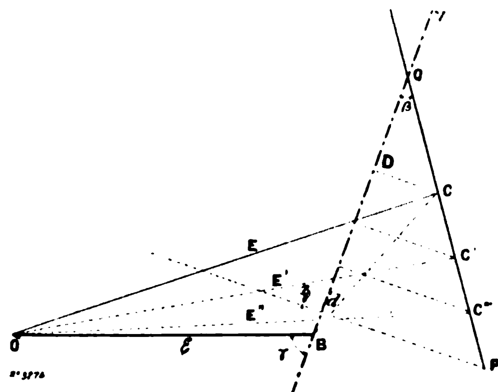


Fig. 20.

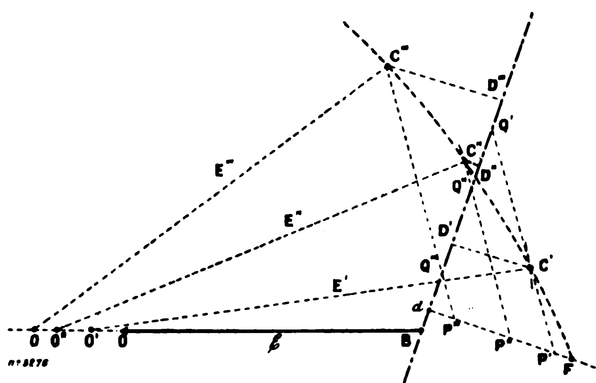


Fig. 21.

comme dans tout ce qui précède, sur la droite de repère BY, les charges sous forme de segments proportionnels $dD = ZI$ et les courants déwattés correspondants I_d par d'autres segments proportionnels

$$DC = ZI_d.$$

Le lieu du point C, extrémité de ce dernier, est une droite QP ayant pour coefficient angulaire en Q

$$\operatorname{tg} \beta = \frac{DC}{DQ} = \frac{\pi kn}{KN'}. \tag{30}$$

Ce coefficient ne dépend que des enroulements inducteur et induit. Cette droite se trace facilement en pratique en déterminant les points Q, à décalage nul, et P, à travail nul.

$$\text{En P} \quad \begin{cases} I_w - j_0 = 0 \\ Pd = i_0 = \dfrac{A - A_d}{KN'}\sqrt{2} \end{cases} \tag{31}$$

$$\text{En Q} \quad \begin{cases} I_d = 0 \\ Qd = I_w - j_0 = \dfrac{\sqrt{2}}{\pi kn}(A - A_d) \end{cases} \tag{32}$$

Pour chaque valeur de $\mathcal{E}$, il existe une valeur de $A - A_d$; on la lit sur la caractéristique en traçant (fig. 16) par le point m correspondant à cette coordonnée la droite ma sous un angle δ par rapport à l'axe des A ayant pour coefficient angulaire la résistance de la spire moyenne du shunt,

$$\operatorname{tg} \delta = r.$$

Donc à chaque valeur de $\mathcal{E}$, correspond une droite PQ plus ou moins éloignée du point d; mais *toutes ces droites sont parallèles*, ayant un même coefficient angulaire ρ qui ne dépend que des enroulements. Plus le nombre des spires de l'enroulement en série est réduit, plus évidemment le point Q s'éloigne de d sur la droite BY ; quand l'enroulement en série n'existe pas (convertisseurs excités en simple dérivation), la droite PQ devient une parallèle à QY menée par P.

Inversement la réduction du nombre des spires sur l'induit éloigne le point P vers la droite sur la perpendiculaire dP.

Enfin l'augmentation ou la diminution des ampères-tours du shunt diminue ou accroît la différence $A - A_d$ et par conséquent rapproche ou éloigne la droite PQ du point d ; elle passe par ce point quand $A_d = A$.

Caractéristique effective du convertisseur en charge. — Cela posé, rien n'est plus simple que d'étudier sur l'épure les variations de la tension aux bornes du convertisseur en fonction de son débit ; il suffit d'inverser le problème et de chercher quel est le débit correspondant à chaque tension, comprise dans les limites où l'on prévoit que celle-ci peut varier.

Soient $\mathcal{E}\,\mathcal{E}'\,\mathcal{E}''$ une série de valeurs de la tension $\mathcal{E}$; on porte les longueurs correspondantes en BO, BO′, BO″..(fig. 21). De ces points O, O′, O″ on décrit des cercles avec E comme rayon, ou E, E′, E″ respectivement si on admet une force électromotrice d'alimentation variable, et on prend leurs points de rencontre C, C′, C″ avec les caractéristiques de décalages QP, Q′P′, Q″P″, correspondant respectivement à ces mêmes valeurs $\mathcal{E}, \mathcal{E}', \mathcal{E}''$... Ces points définissent les régimes de courants I_w et I_d correspondants du convertisseur, et en particulier les charges dD, dD′, dD″. Si l'on a tracé d'autre part la caractéristique *demandée* point par point pour les mêmes valeurs de $\mathcal{E}, \mathcal{E}', \mathcal{E}''$, la comparaison des deux courbes indique immédiatement les écarts entre les valeurs désirées et les valeurs réalisées par l'appareil.

L'inconvénient de cette construction est que les cercles coupent en pratique les droites PQ sous des angles très aigus et que les points de rencontre sont ainsi un peu incertains.

Pour faire la comparaison avec plus de précision par le calcul, il suffit de calculer I_w en fonction de $\mathcal{E}$ par les équations (2) et (29) c'est-à-dire

$$Z^2 (I_d^2 + I_w^2) + 2\mathcal{E} (RI_w + XI_d) = E^2 - \mathcal{E}^2, \qquad (2)$$

$$\left(\frac{\pi k n}{\sqrt{2}}\right)(I_w - j_0) + \frac{KN'}{\sqrt{2}} I_d = A - A_d. \qquad (29)$$

Ces deux équations à deux inconnues I_w et I_d permettent d'éliminer I_d et de résoudre I_w en fonction de quantités connues, $\mathcal{E}$ étant supposé déterminé préalablement ; ce calcul, bien qu'un peu laborieux, ne présente aucune difficulté.

Sans tracer la courbe d'une façon rigoureuse, on peut aisément en prévoir l'allure dans les divers cas. Comme, d'après ce qui précède, l'inclinaison des droite de décalage PQ dépend du courant déwatté admis à vide i_0, on conçoit que le choix de celui-ci doit être fait en se préoccupant d'améliorer l'accord entre la courbe réelle et la courbe demandée. Nous allons examiner à ce point de vue les principaux cas pratiques.

Application au cas d'une excitation indépendante. — Supposons d'abord pour simplifier que l'excitation shunt soit remplacée par une excitation indépendante et constante ; alors A_d est constant.

On voit immédiatement que si l'on n'ajoute pas d'enroulement en série, le convertisseur ne pourra donner que des tensions décroissantes quand la charge augmente. La caractéristique de décalage à toutes charges est en effet une droite PQ parallèle à BY (fig. 22) et si l'on prend sur elle des points C′ C″ qui vont en s'éloignant de P, les rayons constants E coupent l'axe BO en des points O, O′, O″ qui se rapprochent de B ; les tensions proportionnelles à OB vont donc en décroissant.

Donc quelle que soit la réactance et la force électromotrice extérieure choisie E, une excitation indépendante (ou *a fortiori* dérivée) ne peut maintenir la tension constante aux balais du collecteur à courant continu. Il va sans dire que la meilleure excitation dans ces conditions de marche à potentiel tombant serait celle qui annule le courant déwatté dP à toutes charges ; mais ce mode de fonctionnement est, je crois, sans grand intérêt pratique[1].

---

[1] On a proposé quelquefois d'employer la régulation à potentiel tombant pour les convertisseurs travaillant en parallèle avec des batteries d'accumulateurs afin de faire débiter celles-ci aux fortes charges et se recharger aux faibles charges, mais il serait barbare d'être condamné ainsi à accepter des variations de voltage de 10 à 20 p. 100 sur le réseau alors qu'on peut obtenir le même résultat à potentiel constant par des survolteurs automatiques adjoints à la batterie.

Si l'on ajoute un enroulement en série, qui incline la droite PQ, vers la gauche, les variations de $\mathcal{E}$ deviennent évidemment moindres. Cherchons la condition pour qu'elles se réduisent au minimum c'est-à-dire pour que le convertisseur donne une tension pratiquement constante.

Il faudra évidemment que la caractéristique de décalage PQ se confonde le mieux possible dans les limites pratiques de charge avec un cercle décrit du point O correspondant à BO = E. Soit

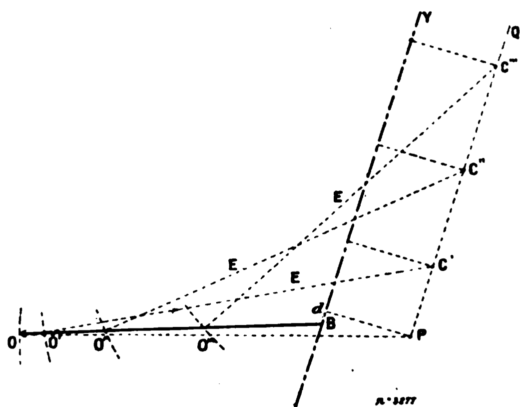


Fig. 22.

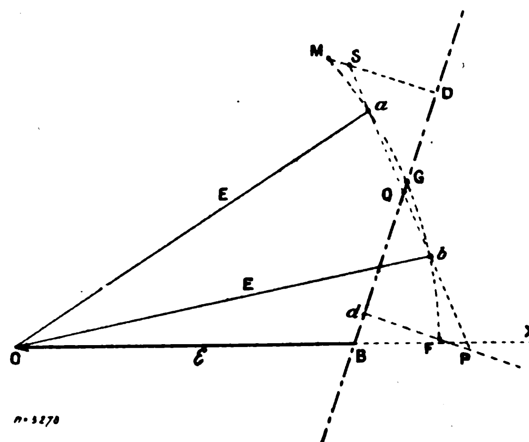


Fig. 23.

F (fig. 23) le régime de marche à vide, G le régime moyen, M le régime de charge maxima. On pourra tracer une droite telle que ab coupant le cercle en deux points a et b intermédiaires à ces régimes, et qui s'écartera très peu du cercle dans tout l'arc d'emploi. Les segments dP et dQ lus sur l'épure détermineront les courants i_0 et I_w à vide et en charge normale, et les équations (31) et (32) permettront d'en déduire le nombre d'ampères-tours constants A_a à réaliser, ainsi que le nombre de spires n du circuit en série.

Les faibles écarts résiduels de la tension $\mathcal{E}$ s'obtiendront en traçant de tous les points de la droite PS des cercles de rayon E et prenant leurs intersections avec l'axe des tensions BO.

Le choix de la réactance X influe sur la précision de la régulation, en ce que plus l'arc de cercle FM, correspondant à une même variation de charge, a d'ouverture, plus il est difficile de le confondre avec une droite PS. Pour améliorer la régulation, on devrait donc réduire au minimum le segment $d\text{D} = \text{Z}I_w$ mesurant la charge maxima I_w, et dans ce but réduire autant que possible la réactance (qui est le facteur le plus important dans la valeur de Z).

Mais, comme on l'a vu plus haut, celle-ci ne peut être réduite au-dessous d'une certaine valeur X_0 sans que cela force à accroître le courant déwatté à vide i_0. Il y a donc un juste milieu à prendre entre X_0 et zéro, qui dépendra des circonstances et de l'appréciation de chacun. En particulier on pourra réduire d'autant plus X que la charge du convertisseur sera plus régulière et qu'il marchera moins souvent à vide.

Pour hypercompounder la machine, on devra redresser davantage la droite PQ en remontant plus haut le point Q sur la droite BY; mais le principe reste le même, tracer la droite PQ de façon qu'elle se rapproche le plus possible en tous points de la caractéristique demandée, tracée tout d'abord.

Application au cas général de l'auto-excitation. — Dans le cas général de l'auto-excitation, la solution est peu différente, mais elle se trouve compliquée par le fait de la variation de l'excitation shunt avec la tension. Au lieu de n'avoir à faire qu'à une seule droite de décalage PQ, on aura donc un réseau de droites parallèles correspondant à diverses valeurs de $\mathcal{E}$.

Dans le cas de la régulation à potentiel constant, la méthode de détermination des enroulements inducteurs et de la réactance du circuit reste exactement la même que dans le paragraphe précédent, puisque le shunt doit produire par hypothèse une excitation constante. Mais il faut tenir

compte des petites variations de A_a dans le calcul final des écarts de voltage dus à l'imperfection de la régulation :

Pour les valeurs de $\mathcal{E}$ inférieures à la valeur normale, l'excitation shunt se réduit d'elle-même, par conséquent la droite PQ se rapproche de d parallèlement à elle-même ; elle s'écarte au contraire quand $\mathcal{E}$ augmente. Il est facile de voir sur la figure 24 que cet effet tend à accroître les écarts par rapport à ce qu'ils sont avec une excitation dérivée constante.

Quand l'appareil doit être hypercompound, les deux régimes à vide et à charge moyenne sans décalage déterminent comme plus haut les ampères-tours déwattés à vide A_0 et, par suite, les enroulements shunt et série.

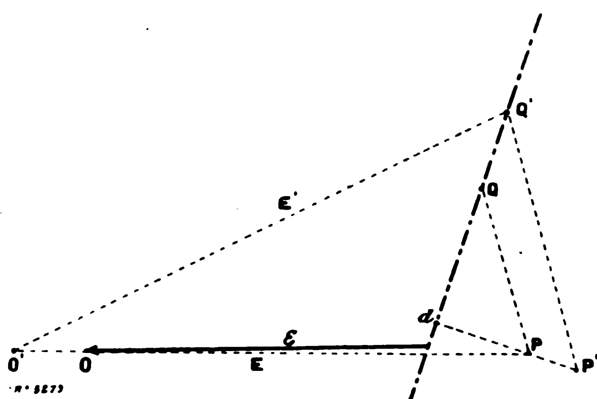


Fig. 24.

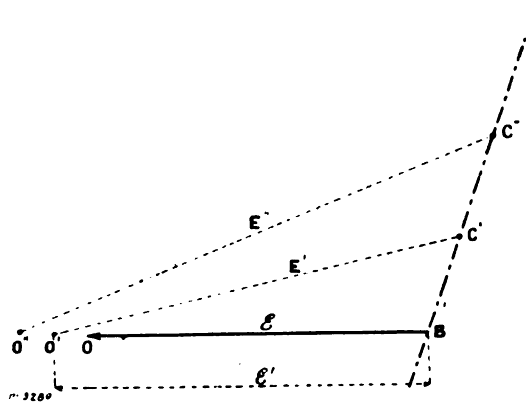


Fig. 25.

Soit $\mathcal{E}$ et $\mathcal{E}'$ les valeurs de la tension correspondante à ces deux régimes, A_t et $A_{t'}$ les ampères-tours correspondants d'après la courbe d'excitation ; les lignes de décalage relatives à toutes les valeurs intermédiaires seront parallèles et comprises entre deux lignes ayant pour équation l'équation 29, avec des seconds membres respectivement égaux à

$$A_t - A_0 \qquad \text{et} \qquad A_{t'}$$

et passant l'une par P l'autre par P, (fig. 24).

Pour qu'il puisse y avoir effectivement hypercompoundage, c'est-à-dire $\mathcal{E}' > \mathcal{E}$, il faut que le point Q soit peu élevé sur la droite BY. Cela indique simplement qu'il faut soit un enroulement en série puissant, soit un grand courant déwatté à vide. C'est évidemment la première solution qui paraît préférable.

Mais comme pour réduire $\mathcal{E}$, il y a toujours intérêt à incliner la droite BY vers la droite, on sera amené à accepter, dans le cas de l'hypercompoundage, d'accroître à la fois les deux éléments dont il s'agit.

Cas de la régulation de la tension d'alimentation par compoundage du générateur. — Comme on l'a dit plus haut, on peut théoriquement annuler à toutes charges le courant déwatté en alimentant le convertisseur par un alternateur convenablement compoundé qui donne une force électromotrice E croissant avec la charge de façon que le point C se déplace toujours sur la droite du repère BY pendant que $\mathcal{E}$ reste constant ou va en croissant suivant le but désiré. Comment devra être organisée l'excitation dans ce cas ?

Si le voltage est demandé constant $\mathcal{E}$, l'excitation sera évidemment en simple shunt, et sa valeur est aisée à déterminer par la condition qu'à charge nulle elle donne exactement le voltage $\mathcal{E}$, puisqu'il ne doit pas y avoir de courant déwatté.

Si l'on demande au contraire des voltages croissants avec la charge, l'excitation doit être compoundée. L'enroulement shunt sera choisi encore de façon à donner à lui seul la force électromotrice $\mathcal{E}$ à vide, et l'excitation en série de façon à produire le supplément d'ampères-tours nécessaires pour réaliser la force électromotrice $\mathcal{E}'$ demandée sous la charge I_n.

Comme on l'a dit plus haut, dans ce cas de régulation, on doit chercher à réduire la réactance X et le décalage θ au minimum.

Cas de la régulation de la tension aux bornes par variation de la réactance du circuit X. — Les deux enroulements se déterminent de la même manière que dans le cas précédent, puisque la tension du courant alternatif à l'entrée est réglée encore de même par des actions extérieures sans décalage du courant à l'intérieur de la machine. L'excitation sera en simple shunt pour tension constante, compound pour tension croissante avec la charge ; le shunt se déterminera par le voltage à vide, l'enroulement en série par le voltage en charge.

Suppression possible de l'excitation shunt. — Rien ne force à employer une excitation indépendante ou shunt comme nous l'avons supposé jusqu'ici ; car on peut toujours en mettant assez de spires sur l'induit et réduisant l'entrefer, réaliser l'excitation nécessaire à vide par le seul effet de la réaction d'induit.

Les équations (21) et (22) se réduisent alors à

$$\frac{\pi k n}{\sqrt{2}} (I_m - j_0) = A_m. \qquad (21\ bis)$$

$$\frac{KN'}{\sqrt{2}} i_0 = A_0, \qquad (22\ bis)$$

Pas plus que l'excitation shunt, ce système ne permet de réaliser exactement une tension constante ou croissante sans inducteurs en série ; il jouit un peu des propriétés d'autorégulation des transformateurs, mais à un degré insuffisant par suite de la plus grande résistance du circuit magnétique.

D'autre part, la grande valeur qu'il faut alors donner au courant déwatté présente le très grave défaut de faire chauffer l'induit davantage en accroissant le courant total, et d'accroître le décalage du générateur, d'où réduction de puissance, grandes chutes de voltage en ligne, etc., en un mot, tous les inconvénients ordinaires des forts courants déwattés ; en outre, la commutation sans étincelle est moins bien assurée par suite de la réduction de l'entrefer.

Aussi ce procédé, après avoir été préconisé par la Société Westinghouse, est-il aujourd'hui délaissé ; nous ne le citons que pour montrer la facilité avec laquelle on peut calculer l'excitation dans ces conditions aussi bien que dans les précédentes. Il a cependant un avantage, c'est de rendre le bon fonctionnement de la commutatrice plus indépendante de la forme de la courbe de la force électromotrice de la génératrice.

Conclusion. — On voit que le diagramme des moteurs synchrones, rapporté à deux axes, se prête par des extensions toutes naturelles à l'étude du convertisseur et permet d'en analyser les conditions de fonctionnement dans les cas les plus variés. Je serai heureux s'il peut aider à débrouiller et comprendre le problème fort complexe que soulève la régulation de ces machines, problème le plus compliqué je crois, que soulève la machinerie à courants alternatifs.

La méthode que je viens d'exposer permet du reste non seulement de prévoir qualitativement les phénomènes, mais de les calculer numériquement en combinant les épures (ou les équations qui les traduisent) avec les données de l'expérience. Des exemples d'applications expérimentales feront l'objet d'un mémoire ultérieur.

A. Blondel.

SUR LES PROPRIÉTÉS DES ANNEAUX A COLLECTEUR

A la suite de l'article de M. Maurice Leblanc paru dans *L'Éclairage Électrique* du 26 octobre 1901 et de celui de M. Bunet paru dans *L'Industrie Électrique* du 25 octobre, nous avions eu, un instant, l'intention de publier notre théorie analytique relative à la nouvelle propriété des anneaux à collecteur que ces articles signalent et contestent. Mais, pour avoir quelque chance d'être mieux écouté, nous avons cherché à faire d'abord des essais concluants. La bonne volonté de M. Boucherot nous l'a permis.

Les résultats de ces essais sont consignés dans une lettre que M. Boucherot a bien voulu nous adresser et que nous nous permettons de publier ci-dessous [1].

Les résultats de ces essais étant des plus nets, nous exposerons donc une théorie plus serrée de cette nouvelle propriété des anneaux à collecteur.

Considérons un anneau en acier magnétique disposé dans un deuxième anneau dont il est séparé par un entrefer. Les deux anneaux seront supposés feuilletés.

Traversé par un courant i, une spire tambour aa (fig. 1) ou l'ensemble de deux spires Gramme diamétralement opposées aa, bb (fig. 2), émet un flux φ que nous pouvons toujours mettre sous la forme :

$$\varphi = \lambda i$$

λ étant un certain coefficient qui ne saurait dépendre en aucune façon de la position de la spire aa ou de l'ensemble des spires aa, bb sur la périphérie de l'anneau.

---

[1] Monsieur, vous m'avez demandé si je ne pourrais pas vous mettre en mesure de vérifier la propriété des anneaux à collecteur parcourus par des courants polyphasés d'avoir une impédance fonction de la vitesse, propriété que vous m'aviez signalée il y a un an bien avant que M. Heyland ait fait les publications qui ont motivé l'article de M. Leblanc sur cette question.

J'ai pu heureusement mettre à votre disposition les éléments nécessaires à la démonstration expérimentale de la propriété énoncée, et je vous adresse ci-dessous les résultats obtenus dans les essais pour que vous en fassiez tel usage qui vous conviendra.

Nous avons pris un petit induit de dynamo à courant continu à quatre pôles comportant 24 entailles presque fermées, 48 sections enroulées en tambour, les sections diamétralement opposées étant reliées en tension, et les groupes de deux ainsi formés aboutissant à 24 lames du collecteur, lequel en compte 48, les 24 autres étant reliées aux premières par un connecteur ; 4 balais en charbon ont été placés à 45° les uns des autres sur le collecteur.

L'induit a été placé dans un stator identique à celui d'un moteur à champ tournant, feuilleté, comportant 8 encoches presque fermées, et des enroulements qui, laissés ouverts, et bien isolés les uns des autres et de la masse, ne pouvaient être parcourus par aucun courant.

L'entrefer était de l'ordre du millimètre.

La mesure de la résistance entre balais pour du courant continu a donné environ 1,8 ohm aussi bien entre les balais n°s 1 et 3 qu'entre les balais n°s 2 et 4.

Les balais ont été ensuite reliés à une source de courants diphasés constitués par une dynamo à courant continu possédant quatre bagues. Il n'était nullement question d'apprécier les conditions dans lesquelles se faisait la commutation, mais simplement de constater la variation de l'impédance.

Un premier essai à la fréquence 25 environ nous a montré que l'impédance variait depuis 15 ohms environ au repos jusqu'à 2 ohms environ dans le voisinage dn synchronisme et croissait ensuite.

Un second essai à fréquence plus élevée (fréquence 35) nous a montré que l'impédance était, au repos de 25 ohms environ et d'environ 2 ohms dans le voisinage du synchronisme, pour un sens convenable de rotation ; pour le sens contraire l'impédance augmentait constamment jusqu'à environ 50 ohms pour une vitesse sensiblement égale à celle du synchronisme.

Nous avons également constaté que l'impédance ne variait pas, quel que soit le sens de rotation, avec un courant alternatif simple,

Veuillez agréer, Monsieur, mes salutations distinguées.

P. Boucherot,
Ingénieur-Conseil.

Nous admettrons :

1° *Que le coefficient λ est indépendant de l'intensité i ;*

2° *Que la distribution du flux φ à l'intérieur de l'anneau est sinusoïdale.*

Considérons le cas simple d'un anneau avec enroulement Gramme dont les conducteurs supposés de section rectangulaire sont dénudés sur la périphérie extérieure de l'anneau de façon à composer un collecteur (fig. 3). Ce collecteur comprendra, par construction, autant de lames qu'il y a de spires sur l'anneau. Disposons sur ce collecteur, à nombre pair de lames pour fixer les idées, 2 balais à 180°, chaque balai ayant la largeur d'une lame et portant, dans le cas général, sur deux lames à la fois.

Envoyons ensuite par ces balais un courant i dans l'anneau.

Nous isolerons d'abord par la pensée les deux spires en court-circuit sous les balais.

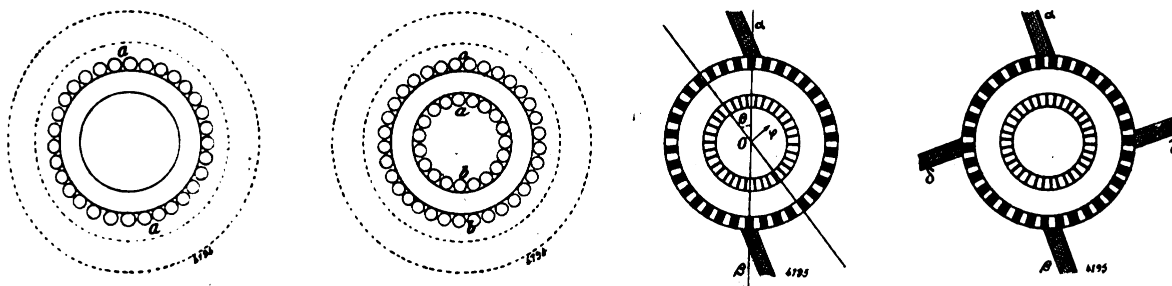


Fig. 1 à 4.

Parmi les spires en circuit, chaque groupe de 2 spires diamétralement opposées produira un flux :

$$\varphi = \lambda \frac{i}{2}.$$

On peut géométriquement représenter ce flux par un vecteur $o\varphi$ normal au diamètre joignant ces 2 spires.

S'il y a n spires sur l'anneau, il y aura $n - 2$ spires en circuit et $\frac{n}{2} - 1$ vecteurs semblables que nous pourrons composer en vue d'obtenir le vecteur résultant représentant en grandeur et en direction le flux résultant produit par l'ensemble des $n - 2$ spires en circuit de l'anneau.

Par raison de symétrie la direction de ce vecteur sera certainement le diamètre $\alpha\beta$ séparant d'une manière symétrique les deux moitiés en parallèle de l'anneau. Pour avoir dès lors sa grandeur il suffit de faire la somme des projections de tous les vecteurs élémentaires sur cette direction $\alpha\beta$.

Considérons l'ensemble de 2 spires jointes par un diamètre de l'anneau faisant un angle θ avec $\alpha\beta$. La projection sur $\alpha\beta$ du vecteur $o\varphi$ correspondant à ces deux spires sera :

$$o\varphi \cos\left(\frac{\pi}{2} - \theta\right) = \lambda \frac{i}{2} \sin \theta.$$

Par unité d'angle il y a $\frac{n}{2\pi}$ vecteurs. La somme des projections de tous ces vecteurs élémentaires sera donc :

$$\Phi = \int_0^{\pi} \frac{n}{2\pi} \cdot \lambda \frac{i}{2} \sin\theta \, d\theta = \frac{n}{2\pi} \lambda i.$$

Le vecteur élémentaire correspondant aux spires en court-circuit sera normal au vecteur φ et susceptible de représenter un petit flux indépendant λj, j étant le courant qui traverse les sections en court-circuit.

L'ensemble des spires en circuit a un certain coefficient de self-induction L que nous allons maintenant déterminer grâce à la connaissance du flux Φ.

Une spire faisant un angle θ avec la direction $\alpha\beta$ est traversée par un flux :

$$\frac{\Phi}{2} \sin \theta.$$

Chacune des deux moitiés en parallèle de l'anneau est donc traversée par un flux :

$$\int_0^{\pi} \frac{n}{2\pi} \frac{\Phi}{2} \sin\theta \, d\theta = \frac{n}{2\pi} \Phi = \frac{n^2}{4\pi^2} \lambda i.$$

Le coefficient de self-induction de l'une des deux moitiés en parallèle de l'anneau est donc :

$$\frac{\frac{n^2}{4\pi^2} \lambda i}{\frac{i}{2}} = \frac{n^2}{2\pi^2} \lambda$$

et le coefficient de self-induction de l'ensemble des deux moitiés en parallèle :

$$L = \frac{n^2}{4\pi^2} \lambda.$$

Nous remarquerons, en outre, que la somme des lignes de force qui, émises par les spires en circuit, traversent les spires en court-circuit sous les balais est nulle puisque $\frac{\Phi}{2} \sin(0) = 0$.

C'est dire que le coefficient d'induction mutuelle entre l'ensemble des spires en circuit et chacune des spires en court-circuit

$$M = 0.$$

Des calculs précédents il résulte que si le courant i amené dans l'anneau par les balais est variable, il y aura dans l'ensemble des spires en circuit, soit que l'anneau tourne, soit qu'il soit au repos, une force électromotrice induite par self-induction qui sera égale à

$$L \frac{di}{dt} = \frac{n^2}{4\pi^2} \lambda \frac{di}{dt}.$$

En outre, M étant nul, le fait du passage d'un courant variable dans les spires en circuit n'exercera aucun effet dans les spires en court-circuit et réciproquement; si l'anneau tourne, le processus de la commutation, correspondant à une variation rapide du courant j dans les sections en court-circuit — variation dont le taux moyen est $\frac{i}{\tau}$, i étant le courant amené par les balais, τ la durée du court-circuit de chaque spire — n'aura aucune influence résultante sur l'ensemble des spires en circuit.

Envoyons maintenant dans l'anneau des courants tétraphasés par 4 balais à 90° les uns des autres, α, β, γ, δ (fig. 4), les balais α, β servant, par exemple, au passage du courant $I \sin\omega t$, les balais γ δ au passage du courant $I \cos\omega t$. *Il y aura, dans ces conditions, simultanément 4 spires en court-circuit, à 90° les unes des autres*, et nous aurons alors à considérer un certain coefficient d'induction mutuelle M soit entre : d'une part, les spires en circuit en tant que ces spires sont traversées par le courant $I \cos\omega t$ amené par les balais γ δ, d'autre part, les spires en court-circuit sous les balais α β; soit entre : d'une part, les spires en circuit en tant que ces spires sont traversées par le courant $I \sin \omega t$ amené par les balais α β, d'autre part, les spires en court-circuit sous les balais γ δ.

Ce coefficient d'induction mutuelle est d'une détermination immédiate.

Si, par exemple, on amenait seulement un courant i par les balais γ δ les spires en court-circuit

sous les balais α β seraient chacune traversées par un flux.

$$\frac{\Phi}{2} = \frac{n}{4\pi} \lambda i.$$

D'où l'on déduit que

$$M = \frac{n}{4\pi} \lambda.$$

La force électromotrice induite dans chacune des spires en court-circuit sous les balais α β, du fait que l'on amène un courant variable $I \cos \omega t$ par les balais γ δ, sera donc

$$M \omega I \sin \omega t = \frac{n}{4\pi} \lambda \omega I \sin \omega t.$$

Celle induite dans chacune des spires en court-circuit sous les balais γ δ sera de même

$$\frac{n}{4\pi} \lambda \omega I \cos \omega t.$$

Ces forces électromotrices développeront au repos certains courants supplémentaires dans les spires en court-circuit dont l'intensité dépendra évidemment de la résistance de leur court-circuit. Avec des balais en charbon ces courants seront généralement assez faibles.

Faisons maintenant tourner l'anneau à une vitesse angulaire ω_1 dans un sens arbitraire.

Les forces électromotrices développées dans les spires en court-circuit conserveront toujours les mêmes expressions, mais, dès que l'anneau tourne, il se produit dans ces spires un phénomène absolument nouveau : la commutation. *Ce phénomène est imposé mécaniquement en quelque sorte par la rotation même de l'anneau sans qu'aucune autre considération puisse prévaloir. Quelle que soit la forme du courant de court-circuit, à quelque prix que la commutation soit d'ailleurs obtenue, il est indubitable que le taux moyen de la variation du courant j dans les spires en court-circuit* est : sous les balais α β, $\frac{I \sin \omega t}{\tau}$; sous les balais γ δ, $\frac{I \cos \omega t}{\tau}$, τ étant la durée du court-circuit de chaque spire.

Cette altération rapide du courant dans les sections en court-circuit, imposée d'une manière artificielle par le déplacement relatif du collecteur et des balais, développe dans les spires en circuit certaines forces électromotrices.

Entre les balais γ δ, la force électromotrice totale développée grâce à l'induction mutuelle exercée par les deux spires en court-circuit sous le balai α et sous le balai β aura, dans une durée élémentaire τ, la valeur *moyenne*.

$$2M \frac{I \sin \omega t}{\tau} = \frac{n}{2\pi} \lambda \frac{I \sin \omega t}{\tau}.$$

Entre les balais α β la force électromotrice *moyenne* développée par suite de la commutation qui s'opère dans les balais γ δ sera de même dans la durée élémentaire τ :

$$\frac{n}{2\pi} \lambda \frac{I \cos \omega t}{\tau}.$$

Dans l'hypothèse où les balais ont exactement la largeur d'une lame, c'est-à-dire dans l'hypothèse où il y a constamment sous chaque balai une spire en court-circuit et une seule

$$\tau = \frac{2\pi}{\omega_1 n}.$$

Ces calculs étant faits, voyons quel sera, par exemple, la force électromotrice totale e développée entre les balais α, β.

Tout comme si l'anneau était parcouru seulement par le courant alternatif simple $I \sin \omega t$

amené par les balais α, β, il y aura d'abord une force électromotrice de self-induction,

$$e_1 = \frac{n^2}{4\pi^2} \lambda \omega I \cos \omega t.$$

Mais, par le fait que des commutations s'opèrent en outre dans les spires en court-circuit à 90° sous les balais γ δ, il y aura, par induction mutuelle, une nouvelle force électromotrice développée,

$$e_2 = \frac{n}{2\pi} \lambda \frac{I \cos \omega t}{\tau} = \frac{n^2}{4\pi^2} \lambda \omega_1 I \cos \omega t.$$

(Nous laissons au lecteur le soin de s'assurer que si l'on convient de tenir ω_1 pour positif lorsque l'anneau tourne dans le sens du champ tournant produit, e_2 est de signe opposé à e_1).

La somme des deux forces électromotrices développées dans l'ensemble des spires en circuit entre les balais α β se trouve donc être :

$$e = e_1 + e_2 - \frac{n^2}{4\pi^2} \lambda \omega I \cos \omega t = \frac{n^2}{4\pi^2} \lambda \omega_1 I \cos \omega t = L [\omega - \omega_1] I \cos \omega t.$$

C'est, à la chute ohmique près, le voltage que l'on constatera entre les balais α β.

L'inductance par phase est donc par le fait de la rotation portée à la valeur $L(\omega - \omega_1)$.

Si $\omega_1 < \omega$, l'inductance est simplement réduite. Si $\omega_1 = \omega$, elle est rendue nulle. Si $\omega_1 > \omega$, elle devient négative, c'est-à-dire *que l'anneau se comporte comme un condensateur*. Enfin si on fait ω_1 négatif en faisant tourner l'anneau en sens inverse du champ, on accroît indéfiniment son inductance.

Dans tous les cas, la rotation de l'anneau en produisant des forces électromotrices en quadrature avec les courants ne fait que régler la plus ou moins grande absorption de courants *déwattés* en avance ou en retard et il n'y a par conséquent pas de travail produit par la rotation, ce qui était évident *a priori*.

L'essai que nous avons fait avec M. Boucherot a mis expérimentalement ces conclusions en évidence.

L'utilisation industrielle de la propriété que nous venons d'exposer conduirait naturellement à faire fonctionner l'anneau dans les conditions où son inductance serait la plus faible possible, négative s'il se pouvait. Aussi, bien des inventeurs pourraient-ils être tentés de faire $\omega_1 > \omega$ de façon à absorber des courants déwattés en avance c'est-à-dire à engendrer des courants magnétisants. Mais le problème de la commutation sans étincelles se pose immédiatement au point de vue pratique.

Les balais α, β, γ, δ étant supposés avoir la largeur d'une lame du collecteur, portent constamment sur deux lames à la fois. Nous dirons, suivant une appellation de Thorburn Reid, que la commutation se produit « parfaite » dans une spire en court-circuit, si elle s'opère de telle façon que la densité du courant sous toute l'étendue du balai qui court-circuite cette spire, c'est-à-dire en face des deux lames sur lesquelles il porte à la fois, reste uniforme pendant toute la durée du court-circuit, soit de telle façon que le balai fonctionne rigoureusement comme un frotteur amenant du courant sur une bague.

Dans le cas de balais rectangulaires, il est facile de s'assurer qu'une semblable commutation suppose une variation linéaire du courant de court-circuit j.

Nous désignerons par r la résistance d'une spire et par ε la force électromotrice de renversement capable d'assurer la commutation parfaite.

Si la commutation parfaite se produit effectivement, l'équation du courant de court-circuit est facile à écrire dans toute sa rigueur.

Les deux lames sous le balai, c'est-à-dire les deux extrémités de la spire court-circuitée, sont alors, en effet, au même potentiel *quelle que soit la nature du balai* par suite d'une chute ohmique uniforme dans le contact. En outre comme la commutation se produit d'une manière symétrique dans la spire diamétralement opposée, elle aussi parcourue dès lors à tout instant par le même

courant j, la force électromotrice qui s'oppose à la commutation est, dans chaque spire,

$$\frac{\lambda}{2}\frac{dj}{dt}.$$

On a, par suite, dans le cas de la commutation parfaite, avec une valeur constante pour $\frac{dj}{dt}$,

$$\varepsilon - \frac{\lambda}{2}\frac{dj}{dt} - jr = 0.$$

Soit

$$\varepsilon = \frac{\lambda}{2}\frac{dj}{dt} + jr.$$

La chute ohmique variable jr dans la spire reste négligeable devant le terme $\frac{\lambda}{2}\frac{dj}{dt}$ dès que l'anneau est placé dans un milieu magnétique et l'on peut écrire que la commutation parfaite est pratiquement assurée dès que

$$\varepsilon = \frac{\lambda}{2}\frac{dj}{dt}.$$

Dans la spire sous le balai α, $\frac{dj}{dt}$ a, dans ce cas, une valeur constante qui est égale à :

$$\frac{I\sin\omega t}{\tau} = \frac{n\omega_1}{2\pi} I \sin\omega t.$$

Dans cette spire, la commutation, pour être parfaite, exige donc une force électromotrice étrangère :

$$\varepsilon = \frac{n}{4\pi}\lambda\omega_1 I \sin\omega t.$$

Or, nous avons vu plus haut que, quelle que soit la vitesse ω_1, la force electromotrice induite dans la spire en court-circuit sous le balai α du fait que l'anneau est traversé par des courants variables est exactement

$$\frac{n}{4\pi}\lambda\omega I \sin\omega t.$$

Il s'en suit qu'on aura une commutation parfaite pour $\omega_1 = \omega$ c'est-à-dire au synchronisme. Au-dessous, $\omega_1 < \omega$, on disposera d'une force électromotrice de renversement *trop forte* pour une semblable commutation ; au-dessus, $\omega_1 > \omega$, d'une force électromotrice de renversement *trop faible*.

La marche synchrone correspondant au cas où l'inductance de l'anneau est nulle permettrait donc seule un fonctionnement parfait au point de vue de la commutation. La suppression de l'inductance et des étincelles sont deux phénomènes connexes [1].

C'est à la suite de cette dernière considération que nous avons été conduit dans notre brevet à porter plus spécialement notre attention sur la marche synchrone [2]. Il va de soi que la diminution progressive de l'inductance avec ω_1 croissant *n'avait pu nous échapper* et que nous envisagions la marche dans le voisinage immédiat du synchronisme simplement parce qu'elle nous permettait, *avec une bonne commutation*, la réduction extrême de l'inductance du rotor. Il nous était

(1) Nous ferons en temps opportun les réserves nécessaires au sujet de la coexistence de ces deux phénomènes.

(2) Extrait du brevet français déposé le 13 décembre 1901 sous le titre : « Alternateur auto-excitateur ou Générateur de courant déwatté. »

« Supposons adapté un collecteur au stator d'un moteur asynchrone polyphasé. Dans la figure d'exposition, je considère le cas spécial des courants triphasés avec enroulement Gramme et montage en triangle, le collecteur étant formé par les conducteurs eux-mêmes mis à nu sur la périphérie externe du stator (se reporter à la figure 4 de

impossible de ne pas nous réserver, *en fait*, l'élasticité d'allure que des balais en charbon nous permettraient dans la pratique.

Notre brevet français a été demandé le 13 décembre 1900 et délivré le 15 mars 1901 (1).

La première publication de M. Heyland dans l'*Electrotechnische Zeitschrift* date du 8 août. M. Heyland dans sa figure d'exposition nous présente un moteur à cage d'écureuil où trois barres du rotor seules nous paraissent être simultanémenti ntéressées au passage des courants. Mais, dans la pratique, M. Heyland indique qu'il a, en réalité, recours à des enroulements d'induit de dynamo à courant coutinu avec collecteur. Dans ces conditions, la production du champ inducteur dans le rotor de son moteur se fait grâce à la distribution de courants polyphasés par l'intermédiaire de frotteurs portant sur un collecteur de dynamo à courant continu distribution que nous avons prévue, dans notre brevet *en tant qu'elle est susceptible de permettre l'auto-excitation des machines à courants polyphasés*.

Marius Latour.

SOCIÉTÉS SAVANTES ET TECHNIQUES

ACADÉMIE DES SCIENCES

Séance du 20 octobre (2)

Sur les variations de l'aimantation dans un cristal cubique, par **Wallerant**. *Comptes rendus*, t. CXXXIII, p. 630.

M. Weiss a montré expérimentalement que l'induction, à l'intérieur d'un cristal de magnétite placé dans un champ uniforme, variait avec la direction de ce champ. Il est facile d'établir les relations existant entre cette induction et la direction du champ, en supposant, bien entendu, que cette induction soit uniforme dans le cristal. Les composantes X, Y, Z de cette induction suivant les axes quaternaires sont des fonctions des composantes du champ suivant ces mêmes axes, autrement dit, des *cosinus directeurs* $\cos\alpha$, $\cos\beta$, $\cos\gamma$ de la direction du champ. Si l'on développe ces fonctions suivant les puissances croissantes de ces cosinus, en s'en tenant aux termes du troisième degré et en exprimant que, pour des orientations du champ symétriques par rapport aux éléments de symétrie du cristal, l'induction se reproduit symétriquement, on obtient les valeurs

$$X = R\cos\alpha\,(1 + k\cos 2\alpha),$$
$$Y = R\cos\beta\,(1 + k\cos 2\beta),$$
$$Z = R\cos\gamma\,(1 + k\cos 2\gamma),$$

R étant l'induction suivant un axe binaire et k un coefficient numérique, tendant vers zéro quand l'intensité du champ augmente.

M. Wallerant s'est proposé de vérifier l'exactitude de ces formules ; nous reproduisons ci-dessous les considérations qu'il expose à ce propos (3).

notre article). Les courants triphasés sont amenés par 3 balais calés à 120°. Si les balais restent fixes, je réalise un champ tournant, à la façon ordinaire, de vitesse ω, ω étant la pulsation des courants. Mais si je fais tourner les 3 balais calés à 120° l'un de l'autre en sens inverse avec une vitesse ω, le champ tournant redevient fixe dans l'espace. Au lieu de faire tourner les balais, je les laisse fixes et fais tourner le stator considéré dans le sens du champ avec la vitesse ω, ce qui revient au même. *J'ai alors l'équivalent d'inducteurs tournants*. Les étincelles aux balais ne sont pas à redouter parce qu'une spire quelconque de l'anneau est toujours traversée par le même flux pendant même le court-circuit. En d'autres termes le champ est fixe par rapport aux spires de l'anneau.

» Ce principe me permet immédiatement de réaliser des alternateurs auto-excitateurs. »

Ces alternateurs sont constitués par un stator induit et *un rotor inducteur*.

Nous avons indiqué dans le texte du brevet la propriété que ces alternateurs pourraient avoir de commune avec les moteurs synchrones d'engendrer des courants magnétisants dès que le rotor est surexcité.

(1) Des notes rédigées sur des projets d'alternateurs auto-excitateurs ont été présentées, dès les mois de janvier et de février, à presque tous les constructeurs français.

(2) Aucune communication concernant l'électricité n'a été présentée aux séances des 7 et 14 octobre.

(3) « Pour vérifier l'exactitude de ces formules, je ferai remarquer que, si l'on désigne par Q et T l'induction

suivant les axes quaternaires et ternaires, elles nous fournissent la relation $3T + Q = 4R$, qui permet de calculer R, connaissant T et Q. Or, dans des champs sensiblement égaux à 77 et 327 C. G. S., M. Weiss a obtenu les valeurs suivantes, pour T : 347 et 418 ; pour Q : 271 et 365 ; pour R : 323 et 403. Or, la formule précédente donne pour R les valeurs 325 et 404 ; il y a donc concordance parfaite. Pour ces valeurs du champ, k est à peu de chose près égal à $-\frac{1}{6}$ et $-\frac{1}{10}$.

» D'autre part, ces mêmes formules permettent de calculer la composante B' de l'induction parallèle au champ : on en tire en effet

$$B' = R + Rk(\cos^2\alpha \cos 2\alpha + \cos^2\beta \cos 2\beta + \cos^2\gamma \cos 2\gamma).$$

» Si l'on considère B' comme un rayon vecteur, cette équation représente une surface ayant pour éléments de symétrie les éléments de symétrie du cube, et nous la désignerons sous le nom de *surface des inductions parallèles*. Or il est facile de voir que le coefficient de K, dans cette équation, est nul pour toutes les directions perpendiculaires à un axe ternaire, par conséquent la courbe d'intersection par un plan diamétral parallèle à une face de l'octaèdre est un cercle : ce que M. Weiss a vérifié expérimentalement.

» On voit donc que les formules données plus haut reproduisent toutes les particularités constatées expérimentalement. Elles permettront donc de calculer l'induction et ses cosinus directeurs en fonction des cosinus directeurs du champ.

» L'étude de la surface des inductions parallèles fournit quelques conclusions intéressantes. Et d'abord, cette induction parallèle a même valeur pour toutes les génératrices d'un cône ayant pour équation

$$\cos^2\alpha \cos 2\alpha + \cos^2\beta \cos 2\beta + \cos^2\gamma \cos 2\gamma = C.$$

Suivant la valeur de C, le cône se compose de trois nappes ayant pour axes les axes quaternaires, ou de quatre nappes ayant pour axes les axes ternaires ; les deux catégories de cônes étant séparées par les plans diamétraux perpendiculaires aux ternaires et qui correspondent à la valeur $C = 0$.

» Il est une valeur particulièrement intéressante de C, la valeur $-\frac{1}{k}$. Pour toutes les génératrices de ce cône, l'induction est perpendiculaire sur la direction du champ ; pour toutes les directions à l'intérieur du cône, l'induction fait un angle aigu avec la direction du champ et le corps est paramagnétique, tandis qu'il est diamagnétique pour toutes les directions à l'extérieur du cône. Mais, pour que ce cône soit réel, il faut que k soit plus grand que 3 ou plus petit que -1 ; or, il est probable que, le plus souvent, k est plus petit que l'unité en valeur absolue. Il faut donc s'attendre à ne rencontrer qu'exceptionnellement des corps paramagnétiques suivant certaines directions et diamagnétiques suivant d'autres.

» Si l'on considère successivement toutes les directions d'un plan comme directions du champ, en général la projection de l'induction sur le plan ne coïncidera pas avec la direction du champ ; cette coïncidence se produit pour quatre directions, qui sont celles des rayons vecteurs maxima ou minima de la courbe d'intersection par le plan de la surface des inductions parallèles. En outre, on démontre sans difficulté que les cônes d'égale induction parallèle passant par ces quatre directions sont tangents au plan et que ces directions sont des axes de moyennes distances *perpendiculaires* sur leur direction conjugée par rapport aux projections sur le plan des quatre axes ternaires du cristal.

» En passant, je ferai remarquer que cette construction des axes d'une section diamétrale s'applique à toutes les surfaces ayant la symétrie du cube et dont l'équation ne renferme que les expressions

$$x^2 + y^2 + z^2, \quad x^2y^2 + x^2z^2 + y^2z^2.$$

» J'ajouterai un mot sur les cristaux rhomboédriques. Si l'on prend pour axe des z l'axe ternaire, pour axe des y un axe binaire et pour axe des x la commune perpendiculaire aux deux autres axes, on obtient pour les composantes de l'induction les expressions

$$X = A \cos\alpha\,(1 + k \cos 2\gamma) + B \cos\gamma\,(\cos^2\alpha - \cos^2\beta),$$
$$Y = A \cos\beta\,(1 + k \cos 2\gamma) - 2B \cos\alpha \cos\beta \cos\gamma,$$
$$Z = C \cos\gamma\,(1 + k_1 \cos 2\gamma).$$

» On voit donc que, si C est nul ou suffisamment petit pour être pratiquement considéré comme nul, l'induction sera perpendiculaire à l'axe ternaire pour toute direction du champ, et nulle quand le champ coïncidera avec cet axe ternaire. C'est ce qui a lieu, d'après M. Weiss, dans la pyrrhotine. »

Séance du 28 octobre 1901 [1]

Essais sur quelques réactions chimiques déterminées par le radium, par **Berthelot**.

Comptes rendus, t. CXXXIII, p. 659-664.

L'auteur a fait quelques essais pour comparer certaines des réactions chimiques spécifiques, déterminées par la lumière et par l'effluve électrique, à celles que le radium est susceptible de provoquer. Ces expériences sont pénibles, en raison des faibles quantités de chlorure de radium mis en œuvre (0,1 environ dans les essais actuels), de la nécessité d'opérer à travers des enveloppes de verre, qui absorbent une partie des radiations, peut-être la plus efficace dans certains cas ; enfin de la durée exigée par l'accomplissement des phénomènes.

Le produit, remis par M. Curie, était enfermé dans un petit tube en verre scellé à la lampe. Pour obtenir des résultats plus nets, M. Berthelot a cru devoir placer ce petit tube dans un tube concentrique, fort mince d'ailleurs et à peu

---

[1] Outre les deux communications analysées ci-dessus, est encore à signaler une communication de M. M. Leblanc, sur la *Stabilité de la marche des commutatrices*, sujet qui a été développé par l'auteur dans un article publié dans le dernier numéro de ce journal, p. 229.

près tangent au précédent. Le système a été alors, suivant les cas, tantôt immergé dans un tube à essai, au centre des matières liquides ou pulvérulentes qu'on se proposait d'influencer à travers la double épaisseur de verre mise en contact, tantôt simplement juxtaposé à un tube de ce genre, ce qui constituait trois épaisseurs de verre interposées.

On opérait dans une armoire close, complètement obscure. A une certaine distance, c'est-à-dire à quelques décimètres, dans la même armoire, on plaçait chaque fois un système tout pareil, renfermant la même substance, mais sans radium, afin de servir de témoin.

Voici les résultats des essais exécutés depuis le 12 juillet 1901 jusqu'au 25 octobre.

L'anhydride iodique I^2O^5, maintenu à 23° et actionné par le radium, ne présente de décomposition sensible qu'au bout de neuf jours ; après quinze jours la vapeur d'iode est bien manifeste et sa dose augmente lentement. Le tube témoin placé à l'obscurité est démeuré parfaitement blanc. La décomposition de l'anhydride qui, comme on sait, se produit sous l'influence de la lumière, est endothermique.

1. Un échantillon d'acide azotique AzO^3H, conservé depuis trois ans à l'obscurité et tout à fait incolore, a pris, au bout de deux heures d'action du radium, une coloration jaune. La réaction est, comme la précédente, endothermique.

2. La transformation du soufre soluble en soufre insoluble, la polymérisation de l'acétylène, l'oxydation de l'acide oxalique par l'oxygène, qui se produisent sous l'action de la lumière ou de l'effluve n'ont pas lieu sous l'influence du radium.

3. Comme l'ont observé déjà plusieurs expérimentateurs, le verre est noirci par les radiations du radium.

Contribution à l'étude des alliages cuivre-aluminium, par **Léon Guillet**. *Comptes rendus*, t. CXXXIII, p. 684-686.

L'étude de ces alliages, qui a déjà été l'objet de recherches très importantes de M. Le Châtelier [1], a été reprise par M. Guillet. Celui-ci les obtient en réduisant, suivant la méthode de Goldschmidt, l'oxyde de cuivre par l'aluminium en poudre. Il est parvenu ainsi à isoler les trois combinaisons sigalées dans les recherches de M. Le Châtelier et qui correspondent aux formules Cu^3Al, $CuAl$, Al^2Cu.

[1] *Bulletin de la Société d'Encouragement pour l'industrie nationale*, avril 1895, juin 1899, septembre 1900.

Séance du 4 novembre 1901.

Sur quelques effets chimiques du rayonnement du radium, par **Henri Becquerel**. *Comptes rendus*, t. CXXXIII, p. 709-713.

Après avoir rappelé les connaissances actuelles sur la constitution du rayonnement du radium et l'effet de ce rayonnement sur le verre, M. H. Becquerel signale les phénomènes :

1° Transformation du phosphore blanc en phosphore rouge sous l'influence du radium ;

2° Réduction du bichlorure de mercure en présence de l'acide oxalique ;

3° Destruction de la faculté de germer des graines exposées plusieurs jours au radium.

Electrolyse du chlorure et de l'iodure d'ammonium en solution dans l'ammoniac liquéfié, par **Henri Moissan**. *Comptes rendus*, t. CXXXIII, p. 713-715.

L'ammoniac liquéfié à — 80° n'est pas conducteur du courant ; dès qu'on y dissout du chlorure ou de l'iodure d'ammonium l'électrolyse se produit. A l'électrode négative il se dégage de l'hydrogène pur ; à l'électrode positive, du chlore et de l'iode libres, ces métalloïdes, qui réagissent sur l'ammoniac avec tant d'énergie à la température ordinaire, n'ayant pas d'action sur le dissolvant à la température de — 80°.

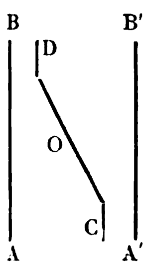
Sur une méthode propre à déceler de très petites charges électriques, par **R. Blondlot**. *Comptes rendus*, t. CXXXIII, p. 717-719,

Lorsque l'on a perfectionné les électromètres et les méthodes électrométriques, on a eu en vue presque exclusivement l'étude de différences de potentiel très faibles existant entre deux sources. Or, il arrive parfois que l'on n'a pas affaire à des sources, mais à des corps possédant des charges déterminées très faibles, qu'il s'agit d'évaluer, ou tout au moins de déceler. Un cas de ce genre s'est présenté à M. Blondlot.

Il s'agissait d'étudier la charge, extrêmement faible, d'une plaque P en laiton, ayant la forme d'un rectangle de 1,3 cm et 2,8 cm de côté, sup-

portée par un manche en paraffine collé au milieu de l'une de ses faces. Après avoir essayé sans succès de se servir des électromètres et électroscopes usuels, tant hétérostatiques qu'idiostatiques, l'auteur fut conduit à employer une méthode nouvelle, qu'il expose ainsi :

« Je construisis d'abord un électroscope ou électromètre idiostatique extrêmement sensible. Les parties essentielles de cet instrument sont figurées ci-dessous en projection horizontale.



Deux plaques rectangulaires en laiton AB et A'B', hautes de 2,4 cm et larges de 2 cm, sont assujetties verticalement en regard l'une de l'autre à une distance de 1,5 cm ; la plaque AB est isolée, la plaque A'B' est reliée au sol. La pièce *mobile*, que j'appellerai l'*aiguille*, est formée d'une lame d'aluminium rectangulaire que l'on a pliée deux fois, comme l'indique la figure. Elle est suspendue à un fil de torsion en quartz, par l'intermédiaire d'un fil de verre rigide projeté en O et long de 4 cm, dans une position symétrique par rapport à AB et à A'B' ; son orientation est telle que, en l'absence de toute charge, les portions planes C et D sont parallèles à AB et A'B'. La portion médiane CD de l'aiguille a été évidée, afin de diminuer à la fois son inertie et la résistance de l'air ; l'aiguille est un peu moins haute que AB et A'B, et les distances de C et D aux armatures en regard sont d'environ 0,2 cm. Lorsque AB a reçu une charge, positive par exemple, cette charge attire en C de l'électricité négative, et, comme l'aiguille est isolée, il se produit en D une charge positive qui, à son tour, attire sur A'B' de l'électricité négative. Les attractions de AB sur C, et de A'B' sur D concourent pour faire tourner l'aiguille et l'équilibre s'établit après une certaine déviation, grâce à la torsion du fil de quartz. Cette déviation est sensiblement proportionnelle au carré de la charge donnée à AB ; un miroir collé au fil permet de la mesurer par la méthode de la réflexion.

« Afin de pouvoir communiquer à AB une quantité donnée d'électricité, par exemple la charge d'un conducteur isolé, AB est relié par un fil métallique à un conducteur creux ; le conducteur chargé étant introduit dans la cavité de façon à en toucher le fond, puis retiré, sa charge a passé presque en totalité sur AB, à cause de la capacité relativement grande du condensateur formé par AB et par C.

« Pour accroître la sensibilité, j'emploie une méthode de répétition : on a un plan d'épreuve de mêmes dimensions que la plaque P, et monté sur un manche en paraffine. Ce plan d'épreuve est approché de la plaque jusqu'à une distance de 0,2 cm, mis en communication avec le sol, puis isolé ; il a ainsi acquis une charge x ayant sensiblement la même valeur numérique que la charge de P, et de signe contraire. La charge x est ensuite communiquée à AB à l'aide du conducteur creux. En répétant n fois cette opération, on accumule sur AB une charge nx.

« L'artifice suivant m'a permis d'augmenter beaucoup plus encore la sensibilité. Au lieu de charger le plan d'épreuve par l'influence de la seule charge de la plaque à étudier, je dispose en regard de celle-ci, à la distance de 10 cm environ, un plateau métallique d'environ 2 dm² de surface, dont le potentiel est maintenu, à l'aide d'une pile, à une valeur choisie d'avance. Lors donc que l'on fait avec le plan d'épreuve la manœuvre décrite plus haut, ce plan emporte à chaque fois non seulement la charge x, mais encore une charge Q due à l'influence du plateau auxiliaire. Au bout de n opérations, l'électromètre a ainsi reçu une charge égale à $n\,(Q + x)$ et prend une déviation correspondant à $n^2\,(Q + x)^2$.

Si maintenant, après avoir déchargé l'électromètre et la plaque P que l'on étudie, on recommence les n opérations, on obtient une déviation correspondant à n^2Q^2. L'excès de la première déviation sur la seconde correspond donc à $2n^2Qx + n^2x^2$. Cette quantité, qui s'annule en même temps que x, peut être rendue beaucoup plus grande que x^2, en donnant à n et à Q des valeurs suffisamment grandes; Q étant ainsi toujours très grand par rapport aux valeurs que x prend dans les expériences, la quantité $2n^2Qx + n^2x^2$ a toujours le même signe que Qx, et, comme le signe de Q est connu d'avance, on en déduit celui de x et, par conséquent, celui de la charge de P. C'est, comme on le voit, une application du principe hétérostatique.

» Des précautions minutieuses sont nécessaires pour que des inégalités de température ne viennent pas produire dans la cage de l'électromètre de faibles courants d'air capables de troubler l'équilibre de l'aiguille. Il faut aussi se garer des électrisations que des frottements

fortuits pourraient produire sur les supports isolants : à cet effet, tous ces supports, formés de paraffine, sont eux-mêmes fixés dans des tubes de laiton que l'on tient à la main sans jamais toucher la paraffine. Il convient aussi d'avoir des plans d'épreuve de rechange, afin d'en changer dès que des traces d'électrisation, dues à des causes accidentelles presque impossible à éviter, commencent à apparaître sur le manche isolant de celui dont on se sert, ce qu'il est aisé de reconnaître à l'aide de l'appareil lui-même.

» Afin d'étudier la sensibilité de la méthode j'ai donné à la plaque P des charges connues d'avance. Pour cela, on entourait cette plaque d'un anneau de garde, puis on disposait en regard un plateau indéfini, relié à la terre ; en chargeant ce condensateur à l'aide d'une pile, on obtenait sur P une charge facile à calculer, connaissant sa surface, sa distance au plateau indéfini et la force électromotrice de la pile. En employant un Leclanché, et la distance étant 2 cm, la charge de P fut trouvée correspondre, toutes opérations et réductions faites, à 23 mm en moyenne de la règle servant à mesurer les déviations par la méthode de réflexion, avec des écarts de ± 3 mm ou 4 mm dus à des perturbations d'origine inconnue. J'ai pu aisément déceler des charges notablement inférieures aux précédentes, et en déterminer les signes [1]. »

Séance du 11 novembre 1901

Sur la formation de l'ozone, par **A. Chassy.** *Comptes rendus*, t. CXXXIII, p. 789.

L'auteur a étudié la façon dont s'accroît la teneur en ozone en faisant passer l'effluve électrique pendant un temps de plus en plus long dans une masse déterminée d'oxygène, en maintenant constante l'intensité du courant. L'appareil utilisé est l'ozoneur de M. Berthelot.

Un premier point constaté est que la loi d'accroissement de la proportion d'ozone est la même, quelle que soit l'intensité du courant : un courant faible peut toujours produire le même résultat qu'un courant intense, pourvu qu'il agisse pendant un temps assez long ou pourvu que l'écoulement du gaz soit assez lent, dans un appareil à production continue.

Le tableau suivant indique la loi de formation numérique de l'ozone à la température de 20°. Il représente la quantité totale d'ozone (en millièmes de la masse totale) que l'on obtient en faisant agir la décharge sur de l'oxygène pur, pendant un temps exprimé, en prenant pour unité la durée de passage de l'effluve nécessaire pour transformer en ozone 1/2 p. 100 de la masse d'oxygène.

Durées.	Quantités d'ozone.	Durées.	Quantités d'ozone.
1	5	10	31,5
2	9,1	12	34,5
3	12,7	14	37,4
4	16,1	20	44
5	19,2	36	54
6	22,2	60	64,5
7	25	90	70,5
8	27,2	120	73

La courbe qui traduit ces résultats est asymptotique à une parallèle à l'axe des temps. La quantité d'ozone tend vers une limite qui dépend uniquement de la température et non de l'intensité du courant.

De ce tableau, il résulte que pour obtenir une teneur de 70 millièmes, il faut une dépense quatre-vingt-dix fois plus grande que pour une teneur de 5 millièmes, en supposant qu'on maintienne constantes les conditions de fonctionnement de la bobine. En ne considérant que le prix de l'énergie électrique, on a donc intérêt, pour obtenir la plus grande quantité possible d'ozone, à n'enrichir que faiblement l'oxygène et, par suite, à activer la circulation de ce gaz.

[1] Signalons une note de M. Raulin sur le magnétisme terrestre présentée à cette même séance et que les nécessités de la mise en pages nous forcent à remettre au prochain numéro.

Le Gérant : C. NAUD.

Tome XXIX. Samedi 30 Novembre 1901. 8e Année. — N° 48.

L'Éclairage Électrique

REVUE HEBDOMADAIRE DES TRANSFORMATIONS

Électriques — Mécaniques — Thermiques

DE

L'ÉNERGIE

SUR LES EXCITATEURS ET RÉSONATEURS HERTZIENS

A PROPOS D'UN ARTICLE DE M. JOHNSON

M. Johnson a publié dans le numéro du 3 août (t. XXVIII, p. 178), sur la télégraphie sans fil, un article dont les conclusions sont tout à fait paradoxales. Il suffit de les lire pour voir qu'elles ne peuvent être acceptées, mais l'erreur de son raisonnement pourrait échapper à quelques lecteurs.

L'auteur adresse d'abord à la théorie de Hertz plusieurs objections qui me paraissent mal fondées ; les plus importantes ne sont que la reproduction des critiques anciennes de MM. Hagenbach et Zehuder, déjà plusieurs fois réfutées.

M. Johnson propose ensuite un essai de théorie où je distinguerai deux parties : une théorie de l'excitateur, et une théorie du résonateur.

La première partie mérite de fixer un instant l'attention. D'après les idées reçues, dès que la différence de potentiel des deux moitiés de l'excitateur est assez grande, l'étincelle éclate, la résistance de la distance explosive est brusquement supprimée et les oscillations commencent ; pendant un certain temps, les conducteurs de l'excitateur sont parcourus par des courants alternatifs et la distance explosive par une étincelle oscillante.

D'après M. Johnson les choses se passeraient tout autrement. Quand l'étincelle éclate, une certaine quantité d'électricité est transportée d'une des moitiés de l'excitateur sur l'autre ; mais immédiatement après la distance explosive redevient isolante. Mais des courants oscillants naissent dans les deux moitiés de l'excitateur, qui vibrent chacune pour leur compte.

Il résulte des calculs de M. Johnson que, si le petit condensateur formé par les deux

boules de l'excitateur a une capacité suffisamment grande, les oscillations des deux moitiés de l'excitateur auront même période, et que cette période est celle qu'aurait l'oscillateur entier si la distance explosive était devenue conductrice. Cela resterait vrai si même les deux parties de l'excitateur n'étaient pas identiques.

L'hypothèse de M. Johnson n'est pas absurde par elle-même : mais elle se trouve contredite par les expériences de M. Décombe et de M. le lieutenant de vaisseau Tissot qui ont pu dissocier l'étincelle par un miroir tournant et ont montré ainsi qu'il y avait une série d'étincelles et non une étincelle unique de durée très courte comme le voudrait M. Johnson.

Cette hypothèse mérite néanmoins de retenir notre attention à deux points de vue.

Il n'est pas impossible que quand les oscillations ont cessé de passer à travers la distance explosive, elles continuent dans les deux moitiés de l'excitateur, sans que la période change beaucoup ; il n'est pas probable qu'il en soit ainsi avec les excitateurs les plus employés, mais on peut se demander si cela ne pourrait pas se produire avec certaius types d'exitateurs à très courte longueur d'onde.

Ensuite si le phénomène ne semble pas devoir être constaté dans les excitateurs, il se produit probablement dans les résonateurs ouverts. On constate que la longueur d'onde de ces résonateurs dépend surtout de leur longueur et peu de la position du micromètre à étincelles. On peut se demander comment cela peut se faire, puisque, avant l'explosion de l'étincelle, chacune des parties du résonateur vibre pour elle-même, tandis qu'après l'explosion le résonateur vibre comme un tout. Il semble qu'il y a dans la remarque de M. Johnson les éléments d'une explication ; cette explication est d'ailleurs la même que j'ai développée ailleurs dans un volume de la collection Scientia.

C'est avec la théorie du résonateur que le paradoxe commence. D'après les calculs de M. Johnson, le résonateur (pourvu que la résonance soit parfaite) répondrait aussi bien quel que soit le coefficient d'induction mutuelle, c'est-à-dire quelle que soit la distance. L'auteur prétend expliquer par là les merveilleux effets de distance de la télégraphie sans fil. L'explication ne serait guère satisfaisante, puisque justement, dans la télégraphie sans fil, la résonance est très imparfaite.

En tout cas l'énoncé est trop paradoxal pour ne pas exciter notre méfiance. Nous observerons d'abord que M. Johnson fait le calcul en supposant l'emploi d'un électromètre ; or, en télégraphie sans fil, on ne se sert pas d'électromètre mais de récepteurs qui fonctionnent suivant des lois essentiellement différentes.

Il est clair cependant que ce n'est pas là l'explication du paradoxe, car personne n'admettra qu'il suffise de se servir d'un électromètre pour communiquer avec l'étoile Sirius.

L'auteur ne paraît pas tenir compte des courants de déplacement qui, dans nos idées actuelles devraient jouer un rôle prépondérant. Ce n'est pas là non plus l'explication, car il est évident que l'énoncé de M. Johnson n'aurait pas semblé moins paradoxal avant Maxwell qu'aujourd'hui.

Il faut qu'il y ait là une simple faute de calcul et c'est en effet ce que l'on constate. Si, comme M. Johnson, nous supposons que

$$C_1L_1 = C_2L_2, \qquad C_1R_1 = C_2R_2$$

et si, passant à la limite (pour une distance infinie) nous faisons $\mu = 0$, il viendra $\rho = 0$, le rapport $\frac{\mu}{\rho}$ restant d'ailleurs fini. D'autre part on aura (équations 13) :

$$p_1 = p_2, \qquad q_1 = q_2$$

et par conséquent (équations 12 *a*) :

$$X_1 + X_2 = Y_1 + Y_2 = 0$$

et l'expression de E_2 deviendra :

$$E_2 = (X_1 + X_2) e^{-q_1 t} \sin p_1 t + (Y_1 + Y_2) e^{-q_1 t} \cos p_1 t = 0.$$

On devrait donc trouver

$$\mathfrak{J} = 0.$$

Or l'expression de $\mathfrak{J}$, telle qu'elle est imprimée, ne conduit pas à ce résultat. Il y a des fautes d'impression évidentes, mais, même en les corrigeant, on voit que c'est dans le calcul de cette expression que M. Johnson s'est trompé. Il suffit d'ailleurs d'observer que $\mathfrak{J}$ doit être nul pour comprendre que les conclusions sont erronées.

H. Poincaré.

GRANDS ALTERNATEURS

A l'occasion de l'Exposition Universelle, presque tous les journaux électriques ont publié des descriptions plus ou moins détaillées des grands alternateurs qui illustraient l'énorme développement de l'industrie électrique. Comme la construction des machines électriques de ces grandes puissances est d'une date relativement récente et que les opinions des constructeurs diffèrent encore sur plus d'un point important, j'ai cru utile de comparer en détail les constantes d'un certain nombre de grands alternateurs. Je ne discuterai d'ailleurs que les machines sur lesquelles les revues techniques donnaient suffisamment de détails pour en permettre le calcul.

Les machines sont groupées selon leur puissance dans le tableau ci-joint (p. 308 et suiv.) contenant en premier lieu les plus puissantes génératrices, en dernier lieu les plus petites. Au milieu se trouvent réunies les machines de puissance moyenne, caractérisées par une forte saturation des pôles. Tout à fait en dernier sont placées celles à faible fréquence, d'environ 25 périodes [1].

[1] Les machines du tableau n'ont pas toutes figuré à l'Exposition : les constructeurs ne sont pas nommés ; chaque machine n'est désignée que par son numéro. Toutes les machines du tableau se trouvent décrites dans *L'Éclairage Électrique*, et je me suis servi principalement des indications de ce journal. Toutefois, comme il s'y trouvait plusieurs chiffres douteux et que la description de quelques machines ne permettait pas d'en effectuer le calcul, j'ai eu recours aussi aux journaux suivants : 1° *Electrical World and Engineer*, New York, où M. Guilbert a donné une description assez complète des alternateurs de l'Exposition ; 2° *Elektrotechnische Zeitschrift*, Berlin ; 3° *Zeitschrift für Elektrotechnik*, Vienne.

En général, ces trois sources de mes informations sont d'accord ; elles diffèrent cependant sur quelques points, qui souvent sont des points importants, comme le nombre de conducteurs par encoche de l'induit, nombre qui détermine le flux par pôle, constante principale.

De plus elles contiennent toutes plus ou moins d'erreurs d'impression. Les descriptions de quelques machines font supposer que leurs constructeurs ont donné des renseignements inexacts pour garder le secret de leur expérience. Ainsi plusieurs machines sont absolument impossibles si l'on prenait à la lettre ce qui en est dit : pour une machine j'ai trouvé, par exemple, une induction dans les pôles de plus de 60 000 lignes par cm^2 !

Quand les descriptions données par différents journaux se contredisent ou qu'elles sont en désaccord avec le dessin, ou enfin quand elles contiennent quelque chose de matériellement impossible, j'ai adopté les constantes qui m'ont paru les plus probables et qui s'accordaient le mieux avec les autres constantes données. Pour certaines génératrices, quelques-unes des constantes ne sont pas indiquées, par exemple l'enroulement des inducteurs ; dans ce cas je me suis efforcé de suppléer à ces lacunes, d'après le dessin, autant que possible, ou d'après la tension en volts de l'excitation, etc. J'arrive ainsi à un résultat probable et en tous cas possible, sinon rigoureusement conforme à la vérité. Il est évident par cela même que les constantes trouvées pour quelques machines sont quelque peu hypothétiques.

NUM

		1	2	3	4	5	6	7	8	9
	Kilovolts ampères	3 000	2 000	1 200	1 000	800	825	1 375	700	860
	Tours par minute	83	83	79	94	79	90	94	100	94
	Fréquence (périodes par seconde)	50	50	50	50	50	48	50	50	50
	Nombre de pôles	72	72	76	64	76	64	64	60	64
Induit.	Diam. mesuré à l'entrefer. cm	741	600	570	580	600	556	500	440	500
	Largeur du fer. cm	**52**	60	40	30	27	40	30	24	**25**
	Nombre de disques	6	—	1	—	—	—	—	—	2
	Largeur avec disques	58	60	46	30	27	40	30	24	28
	Hauteur radiale du noyau. cm	21,7	8,8	4,5	22,7	19,6	**13,5**	**19.5**	12.5	13.5
	Nombre d'encoches	1 080	648	456	384	456	192	192	180	192
	Encoches par pôle	15	9	6	6	6	3	3	3	3
	Pas des encoches	21,4	28,8	39,2	47,6	41,3	91	82	75,7	81,5
	Profondeur des encoches. mm	38	55	45	Diamètre :	29	**45**	**45**	55	**65**
	Largeur des encoches. mm	11	13	**21**	28	15,2	**20**	**22**	28	**43**
	Largeur de la fente. mm	11	13	—	**9**	3	**20**	**22**	—	—
	Entrefer en. mm	10	12	5	8	7	5	4,5	5,5	7
Inducteurs.	Pas des pôles. cm	32	26	23,6	28,5	24,8	27,3	24,6	23	24,5
	Embrassement polaire	24	17,3	18	19	20	15,5	12,5	13	15
	Embrassement : pas	0,75	0,66	0,76	0,66	0,8	0,56	0,51	0,565	0,61
	Pièces polaires	Lamellées.	Lamellées.	Chanfrein.	Solides.	Lamellées.	Lamellées.	Lamellées.	Solides.	Solides.
	Noyaux polaires	Amortisseur. Lamellés.	Lamellés.	Rectang.	Ronds.	Lamellés.	Ovales.	Lamellés.	Ronds.	Ronds.
	Largeur et épaisseur. cm	**56 × 13,5**	**58 × 11,5**	**46 × 9**	18	**26 × 12,5**	—	**28,5 × 11 ?**	14	16,5
	Section du noyau. cm²	**717**	—	**414**	254	**308**	**450 ?**	298 ??	153,5	214
	Les noyaux sont	Encastrés.	—	Elargis.	—	—	Encastrés.	Encastrés.	Encastrés.	Encastrés.
	Place occupée p. l'enroul. cm	13 × 5	21 × 2,3	10 × 3,4	14,5 × 3,2	16,5 × 2,6	25 × 2,5	21,5 × 3,6	20 × 4	25,5 × 1,9
	Nombre de spires par pôle	90/2	40	44	34	155/2	60	54	137	70
	Fil inducteur	—	4 × 23	Rond 8	—	Rond 2 × 4,7	4 × 25	Rond 11	6 × 6	3 × 19
	Section du fil. mm²	**62,5**	92	50,3	**115**	2 × 17,4	100	95	36	57
	Longueur moy. d'une spire. m.	**1,65**	**1,7**	**1,275**	**0,71**	**0,96**	**0,92**	**1.03**	**0,59**	**0.60**
	Résistance à chaud	**0.77**	1	1,6	0,25	3,06	0,728	0,7	2,73	0,825
Induit.	Voltage aux bornes	6 000	2 200	5 000	5 000	2 200	3 000	5 500	3 300	2 400
	Ampères en pleine charge	290	530	140	115	210	158	145	123	207
	Montage en	Etoile.	Etoile.	Etoile.	Etoile.	Etoile.	Etoile.	Etoile.	Etoile.	Etoile.
	Nombre de fils par encoche	1	1	5	6	2,5	6	11	12	7
	» par phase	360	216	760	768	380	384	704	720	448
	Fil induit	—	7 × 44	Câble.	—	4 à 3,9 ronds	—	4 à 3,8	3 à 4,2	—
	Section du fil. mm²	90	310	40	42 1/2 ?	47,7	—	45,4	41,6	65,4
	Courant par fil	290	530	140	115	210	158	145	123	207
	Densité du courant	3,25	1,7	3,5	2,7	4,4	—	3,2	2,95	3,17
	Longueur moyenne d'un fil. m.	**1,3**	**1,3**	**0,84**	**0,95**	**0,76**	—	**0,775**	**0,73**	**0.81**
	Résistance par phase à chaud.	0,098	0,014 froid.	0,3	0,34	0,121	—	0,25	0,25	1,11
	Perte de voltage aux bornes	49	12,8	72,5	67,5	43,8	—	63	54	39,3
	Flux utile $= Nr\ 10^6$	8,8	5,33	5,2	3,44	3,05	4,33	4,12	2,43	2,82
	Flux : Surface de l'induit par pôle. cm²	5 290	3 420	5 500	4 025	4 550	3 980	5 600	4 400	4 600
	Largeur minima des dents mm	10,4	15,8	**18,2**	**20 ?**	26,1	**71**	**60 ?**	47,7	**38.5**
	Section des dents par pôle. cm²	610	560	**278**	**237 ?**	338	**480**	**276 ?**	194	**177**
	Induction maxima des dents 10^3.	14,5	9,5	16,8	14,5	9	9	14,95	12,5	16
	Perte dans les dents ; watts.	40 000	29 300	34 400	11 650	7 250	18 350	29 900	15 750	25 600
	Section du noyau d'induit. cm²	2 030	950	325	1 230	950	975	1 055	540	610
	Induction dans le noyau 10^3.	4,33	5,6	16	2,8	3,22	4,4	3,9	4,5	4,6
	Perte dans le noyau ; watts.	64 500	38 200	70 500	15 900	15 300	22 800	18 600	11 000	15 200
	Dispersion entre pièces polaires.	0,855	1,3	0,88	0,55	1,76	0,875	0,41	0,297	0,563
	» entre noyaux pol. 10^6.	2,03	1,84	0,54	0,306	0,535	1,04	0,93	0,295	0,528
	Flux dans l'inducteur minimum	9,65	6,46	6,08	3,99	4,78	5,2	4,53	2,73	3,38
	» » maximum 10^6	11,7	8,48	6,62	4,3	5,315	6,24	5,46	3,02	3,91
	Coefficient de dispersion	1,33	1,59	1,275	1,25	1,74	1,44	1,325	1,24	1,39
	Induction dans les pôles minima 10^3	13,35	10,4	14,7	15,7	15,5	11,6	15,2	16,95	15,8
	» » maxima 10^3	16,3	13,4	16	16,9	17,25	13,85	18,3	18,9	18,3
	Section de l'entrefer par pôle cm²	1 030	871	780	560	570	610	350	335	405
	Induction dans l'entrefer 10^3.	8,570	6,12	6,68	6,15	5,4	7,05	11,8	7,25	7
	Entrefer équivalent	10	12	6,5	8	7	5	4,5	5,5	7
Par circuit magnétique. Amp.-tours.	Pour l'entrefer	13 700	11 750	6 950	7 880	6 050	5 650	8 500	12 800	7 850
	Pour les noyaux polaires	1 280	705	960	1 520	2 300	1 200	3 330	5 500	4 740
	Pour le joint	420	500	320	680	625	400	250	350	580
	Pour la culasse volante	65	95	50	50	75	50	50	80	50
	Pour les dents	210	90	550	135	40	65	300	165	530
	Pour le noyau induit	160	160	1 100	85	110	160	120	105	150

'ALTERNATEUR

12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
800	1 000	1 400	1 200	1 200	350	220	270	215	5 000	1 330	1 000
80	83,3	72	125	126	142	110,4	250	120	75	75	75
42 1/2	50	50	50	42	42 1/2	46	50	32	25	25	25
64	72	84	48	40	36	50	24	32	40	40	40
600	551,7	640	415	410	310	360	160	267,8	980	540	355,6
23?	13,5	22	28	34	25	15	48	25	**52**	40	39,6
5?	1	3	3	5	5	—	2	—	6	3	6
25	15	25	31	39	30	15	50	25	**58**	43	45,6
16,4	13,8	13,5	15	17,7	12,5	12,6	11,2	12,3	21,5	13,2	9,7
384	432	504	360	360	72	300	144	96	480	240	120
6	6	6	7,5	9	2	6	6	3	12	6	3
49,2	39,8	41,7	36,3	35,8	—	37,8	35	88	34	70,3	47,5
36	47	55	**50**	**50**	43	24	23	Diamètre :	**60**	**68**	**84**
22	24,5	21	**21**	**18**	34	19	17	47	**30**	**25**	**46**
—	10	9	**7**	**8**	—	**9**	5	8	?	**25**	**46**
8	8,5	6	6	6	6	10	4	5	18?	11	7
29,5	24	25	27,2	32,2	27,2	22,7	20,8	26,4	77	42,4	28
15	16	16	17,4	22	13,5	15	10	14,5	57,5	27,5	19
0,5	0,67	0,64	0,64	0,68	0,5	0,66	0,48	0,57	0,75	0,65	0,68
Solides.	Solides.	Chanfr.	Chanfr.	Chanfr.	Solides.	Solides.	Solides.	Solides.[1]	Lam. plaq. bronze.	Lam.	Lam. chanfrein.
Ovales.	Ronds.	Ronds.	Ronds.	Ronds.	Ovales.	Ronds.	Ovales.	Ronds.	Lam.	Lam.	Lam.
—	13 1/2	16	19	23,5 — 25	—	**11**	—	14,5	**55 × 55**	**40 × 19,5**	**41 × 12**
200	143	200	283	452	190?	**95**	295	165	**2 450**	**738**	**468**
—	Encastrés.	—	Encastrés.	Encastrés.	—	—	—	Encastrés.	—	Elargis.	—
10,5 × 5,5	17 × 3	14,5 × 2,5	16,5 × 2	20 × 2	18 × 2	20 × 3,7	13 × 1,7	22 × 3,8	18 × 3,75	22,5 × 3,4	18 × 3,8
50	105/2	45	50	55	176	42	110	50	**60 ?**	46	67,5
4,8 × 104	—	3 × 25	3,5 × 20	3 × 25	Rond 5,2	3,5 × 37	1,1 × 17	3,8 × 20	**3 × 37,5 ?**	1,2 × 110	2,3 × 38
83,2	42	75	70	75	21,2	129	18,7	76	**112,5 ?**	130	87,5
0,9	**0,55**	**0,62**	**0,685**	**0,88**	**0,77**	**0,51**	**0,835**	**0,6**	**2,6**	**1,28**	**1,4**
0,7	0,5	0,55	0,45	0,42	4,5	0,165	2,65 (froid).	0,22	**0,887 ?**	0,39	0,8
2 200	2 200	3 000	2 200	2 200	2 000	220	800	220	11 000	5 500	5 500
210	262	270	315	315	175	525	195	565	263	140	105
Triangle.	Etoile.	Triangle.	Triangle.	Triangle.	Monoph.	Etoile.	Etoile.	Etoile.	Etoile.	Etoile.	Etoile.
6	5	6	4	4	11	1	2	9/4	3	9	25
768	720	984	480	480	792	100	96	72	480	720	1 000
Câbles.	—	Câbles.	Câbles.	Câbles.	Câbles.	—	15 × 4,5	4 à 8,2	—	25 × 3	—
25	64	38	38	38	33,6	300	53	211,2	**200 ??**	75	55
121	262	156	182	182	175	525	195	565	263	140	105
4,6	4,1	4,1	4,8	4,8	5,2	1,75	3,68	2,67	**1,3 ??**	1,87	1,92
0,82	**0,53**	**0,75**	**0,815**	**1,0**	**0,71**	**0,745**	**0,87**	**0,72**	—	**0,35**	**1,1**
0,52	0,125	0,34	0,185	0,21	0,336	0,005	0,0324	0,00492	—	0,262	0,41
63	56,5	58	33,5	38,2	59	4,53	10,9	4,8	—	63,5	70
3,13	1,63	2,8	4,18	5,03	2,75	1,26	4,41	2,52	24	8,06	5,78
4 630	5 030	5 100	5 500	4 600	4 050	3 700	4 410	3 820	6 000	4 770	5 220
27,2	15,3	20,7	**15**	**17**,8	—	18,8	18	41	**34**	45,3	47,5
188	82,5	175	**202**	**372**	—	112	249	168	**1 630**	706	383
16,6	19,9	16,0	20,7	13,5	8,5	11,3	17,7	15,0	14,7	11,4	15,0
16 550	12 850	27 000	24 600	14 700	4 550	2 100	71 700	5 100	47 300	17 400	17 500
680	335	530	760	1 080	563	340	922	555	2 030	950	690
4,62	4,9	5,3	5,5	4,65	4,88	3,7	4,77	4,55	11,8	8,45	8,4
16 300	9 900	21 250	21 200	24 100	8 120	3 920	7 850	4 650	228000 ?	32 500	15 900
0,277	0,442	0,394	0,48	0,65	0,31	0,243	0,36	0,22	1,58	0,935	1,06
0,331	0,366	0,325	0,603	0,507	0,344	0,293	0,574	0,28	2,6	1,24	1,54
3,41	2,07	3,19	4,66	5,68	3,06	1,55	4,77	2,74	25,6	9,0	6,84
3,74	2,44	3,52	5,26	6,19	3,4	1,8	5,34	3,02	28,2	10,24	8,38
1,195	1,5	1,26	1,26	1,23	1,25	1,43	1,21	1,2	1,18	1,27	1,45
17,05	14,45	15,95	16,5	11,8	16,1	16,3	16,2	16,6	10,45	12,2	14,6
18,7	17,05	17,6	18,6	14,3	17,9	18,9	18,1	18,3	11,5	13,9	17,9
390	208	345	480	732	365	218	490	380	3 200	1 000	600
8,0	7,85	8,15	8,7	6,87	7,53	5,8	9,0	6,62	7,5	8,06	9,6
8	8,5	7,5	7,5	7,5	6	10	4	5	**19 ?**	11	9
10 250	10 700	9 800	10 430	8 250	7 230	9 280	5 760	5 290	23 000	14 200	13 800
3 640	1 900	2 410	3 200	680	2 500	4 700	2 480	4 680	500	1 025	2 460
760	480	505	500	400	715	755	—	500	—	400	715
50	50	60	50	100	60	65	100	100	385	75	75
325	900	440	1 000	190	55	55	350	150	400	150	535
175	120	135	160	190	120	95	100	100	1 300	250	185

		NUM							
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Par ciruit magnétique. Ampères-tours : Sans réaction	15 835	13 300	9 930	10 350	9 200	7 250	12 550	12 600	13 900
De l'induit	3 080	3 390	1 970	2 920	2 240	2 020	3 370	3 120	3 060
En court circuit calculés	4 105	4 520	2 628	3 895	2 975	2 695	4 495	4 160	4 080
Pleine charge non inductive cos φ = 1	16 450	14 000	10 100	10 900	9 150	7 750	12 600	12 250	13 300
Pleine charge inductive avec	18 000	16 700	12 400	13 450	11 550	9 000	15 700	15 500	17 100
Facteur de puissance minimum	0,9	0,7	0,5	0,7	0,7	0,85	0,8	0,8	0,7
Excitation en ampères : A vide calculée	167	165	105,5	143	53,2	57,5	102	36	80,5
» indiquée	—	120	100,5	131	54	98	86	43	70
En court circuit, calculée	—	56,5	30	57	19,3	22,5	41,5	15,2	29,2
» indiquée	—	42	40	49	15	22,5	33	15	38
Pleine charge sur cos φ = 1 ; calculée	184	175	115	160	59	62	117	—	95
Pleine charge sur cos φ = 1 ; indiquée	—	135	113	155	—	104	—	—	—
Pleine charge sur cos φ, minimum, calculée	200	290	141	198	74,5	75	145	56,5	122
Pleine charge sur cos φ, minimum, indiquée	—	—	153	—	—	117	120	57	120
Densité de courant inducteur maxima	1,6	2,28	2,8	1,72	2,14	0,75	1,53	1,58	2,1
Pertes d'énergie : Dans le fer. watts	104500	67 500	104900	27 550	22 550	41 150	48 500	26 750	40 800
» en p. 100	3,32	3,2	7,8 ?	2,63	2,65	4,67	3,33	3,6	4,43
Dans le cuivre induit. watts	24 800	14 000	17 600	13 700	16 000	—	15 800	11 400	14 100
» » en p. 100	0,79	0,665	1,31	1,31	1,88	—	1,09	1,53	1,53
Dans l'excitation cos φ = 1 watts	26 000	30 600	21 100	6 400	10 700	3 015	17 250	5 450	7 450
Dans l'excitation cos φ = 1 en p. 100	0,825	1,45	1,57	0,61	1,26	0,342	1,18	0,73	0,81
Rendement en pleine charge non inductive	95,2	96,7	89,4 ?	95	94,5	93,6 ?	94,4	94,1	93,3
Surface refroidissante induit dm²	7 700	2 870	2 100	2 110	1 935	2 090	1 775	1 210	2 220
Watts par dm² induit	16,8	28,4	58,3	19,5	19,9	25,4	36,2	31,6	24,7
Perte excitation maxima	31 000	44 000	31 800	13 800	17 000	10 000	18 150	8 700	12 250
Surface refroidissante électros	1 720	2 700	1 070	740	1 340	1 600	1 610	867	1 080
Watts par dm² électros	18	16,3	29,8	18,6	12,7	6,25	11,3	10	11,4
Vitesse circonférentielle (mètres par seconde)	32	26	23,6	28,5	24,8	26,2	24,6	23	24,5
Poids : Tôles, induit. kg	**22 400**	**23 000**	**4 580**	**10 200**	**8 250**	**9 060**	**8 300**	**4 360**	**5 680**
Pôles et pièces polaires »	**8 000**	**9 300**	**3 530**	**2 880**	**4 500**	**8 100**	**3 750**	**1 920**	**3 700**
Poids total du fer »	30 400	32 300	8 110	13 080	12 750	17 160	12 050	6 280	9 380
Poids : Cuivre induit »	**1 140**	2 400	715	**835**	370	—	670	550	590
» inducteurs »	**5 950 ?**	4 000	1 817	**1 600**	1 770	3 240	2 800	1 500	1 470
Poids total du cuivre »	7 100	6 400	2 532	2 435	2 140	**4 000 ?**	3 470	2 050	2 060
Constantes : De grandeur : K	790	900	860	950	960	1 360	513	665	685
De réaction	0,195	0,258	0,2	0,282	0,243	0,278	0,27	0,25	0,22
De dispersion induit : $S \times 10^{-3}$	1,76	4,55	2,02	2,8	2,5	2,15	3,15	4,21	3,5
Kilovolts ampères par pôle	41,7	27,7	15,8	15,6	10,5	12,9	21,5	11,67	13,4
» ampères-tours par min.	36,2	24	15,2	10,65	10,1	9,15	14,6	7	9,15
Poids : Fer par kilovolts ampèr.-tours	840	1 165	534	9 230	1 260	1 875	825	900	1 025
Cuivre par kilovolts amp.-tours	196	231	166	229	212	437 ?	238	293	225
Fer + 5. cuivre par kilov.-t.	1 820	2 320	1 367	2 375	2 320	4 060	2 015	2 365	2 150

(¹) Observations concernant le tableau. — I. *Parties lamellées*. — Pour calculer la section des parties lamellées, j'ai supposé que l'isolement entre les tôles prend 5 p. 100 dans le cas des inducteurs lamellés, et 10 p. 100 dans les induits. Je compte donc 95 p. 100 de la section totale dans un cas, et 90 p. 100 dans l'autre.

II. *Section du noyau de l'induit*. — Cette section, comme elle est indiquée dans le tableau, se comprend comme section totale correspondant au flux total (2 fois le produit : largeur × hauteur radiale).

III. *Dimensions des encoches*. — La profondeur de l'encoche est comptée depuis l'alésage de l'induit. Dans le cas d'encoches entièrement fermées, l'isthme est donc compris.

IV. *Longueur moyenne d'un fil*. — Les longueurs moyennes indiquées sont partout relevées sur le dessin. Elles ne sont pas vérifiées par la comparaison de la résistance qui en résulte avec la résistance indiquée.

V. *Résistances de l'induit et des inducteurs*. — Les résistances sont partout indiquées à chaud. Elles sont, dans

L'ALTERNATEUR

	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
	15 200	14 150	13 350	15 350	9 810	10 680	14 950	8 810	10 770	25 800	16 100	17 770
	3 080	5 550	3 860	3 850	4 630	3 475	2 220	1 660	2 690	6 650	5 350	5 550
	4 105	7 400	5 135	5 120	6 175	4 635	2 960	2 215	3 585	8 865	7 135	7 400
	15 600	15 350	14 000	16 100	11 600	11 650	14 500	8 700	10 200	2 700	17 500	18 500
	17 450	19 100	17 000	19 500	15 000	—	16 500	10 450	13 500	30 800	20 300	22 000
15	0,85	0,85	0,8	0,7	0,7	1,0	0,9 ?	0,75	0,7	0,9	0,9	0,9
	130	123	138	138	85,5	28	148	35	85,5	210 ?	168	120
5	137	110	140	120	86	40	—	27	—	—	140	110
5	41	70,5	57	51,5	56	13,2	35,2	10	36	74	77,5	54,7
1,	45	75	57	48	48	12	—	10	—	—	58	57
	156	146	155	161	—	33,2	173	39,5	102	225	190	137
	156	136	160	—	—	45	—	—	—	—	155	126
	174	182	189	195	137	—	196.5	47,5	135	257	220	163
	193	160	230	200	180	—	—	42	92	—	200	—
h	2,09	2,16	2,52	2.8	1,83	1,57	1,53	2,54	1,78	2,3	1,7	1,85
	32 850	22 750	48 250	45 800	38 800	12 670	6 020	15 020	9 750	275300	49 900	33 400
15	3,77	2,15	3,24	3,59	3,07	3,35	2,56	6,55	4,2	5,13 ?	3,54	3,14
	20 500	25 700	28 000	18 500	21 000	10 300	4 130	3 800	4 800	—	15 200	13 700
	2,36	2,43	1,88	1,45	1,66	2,72	1,76	1,66	2,07	—	1,08	1,29
	17 000	10 650	13 200	11 650	4 620	4 950	4 940	4 130	2 280	45 000	14 100	15 000
	1,95	1,0	0,785	0,91	0,365	1,31	2,1	1,8	0,98	0,84	1,0	1,41
4	92	94,5	94	94.1	95	92,7	93,6	92,2	92,8	93,2	94,4	94,2
	3 310	1 530	3 000	2 200	3 220	1 820	706	835	742	10 600	3 220	2 740
4	16,2	31,6	25,4	29,3	18,6	12,6	14,4	22,6	19,6	31	20,2	17,2
	26 000	16 600	29 200	18 000	13 600	9 100	6 375	6 000	4 000	58 700	18 850	21 300
	740	787	840	600	588	440	600	280	508	2 200	1 275	1 120
	35	21	34,8	30	23,2	20,7	10,6	21,4	7,9	29,1	14.8	19
5	25	24	25	27,2	27	23,1	20,8	20,8	16,8	38,5	21,2	14
	6250	**3 120**	**6 000**	**5 400**	**9 400**	**3 040**	**1 850**	**2 360**	**2 680**	**31 800**	**9 850**	**5 830**
	1 600	**1 600**	**2 600**	**2 300**	**2 780**	**1 170**	**950**	**980**	**1 150**	**20000**	**6 850**	**3 500**
	7 850	4 720	8 600	7 700	12 180	4 210	2 800	3 340	3 830	51 800	16 700	9 330
	500	660	**775**	360	400	162	450	109	315	**4 500 ? ?**	1 900	**1 625**
	2 100	1 610	1 500	1 030	1 250	920	1 200	395	595	**6 400 ?**	3 100	2 950
	2 100	2 270	2 275	1 390	1 650	1 080	1 650	504	909	10 900	5 000	4 575
	830	343	465	505	600	975	980	1 140	1 000	750	658	375
156	0,207	0,392	0,289	0,25	0,47	0,325	0,149	0,188	0,25	0,258	0,33	0,313
5	2,46	6	4,0	3,0	3,05	5,75	3.7	2,7	3,24	0,6	1,96	4,3
5	12,5	13,9	16,67	25	30	9,7	4,4	11,2	6,7	125	33,3	25
5	10	12,0	19,45	9,6	9,55	2,46	1,99	1,08	1,78	66,6	17,75	13,3
	785	393	442	800	1 275	1 710	1 410	3 090	2 150	777	940	700
	210	189	117	145	173	440	830	466	510	163?	282	344
	1 835	1 338	1 027	1 525	2 127	3 710	5 560	5 420	4 700	1 592	2 350	2 420

plusieurs cas, vérifiées et corrigées d'après les longueurs moyennes, les chiffres indiqués dans la description des machines n'étant pas toujours justes.

VI. *Chute de voltage due à la résistance de l'induit.* — Pour les génératrices triphasées, la chute de voltage indiquée est celle entre deux bornes, soit 1,73 R.J. dans le cas du montage en étoile et R.J. pour le montage en triangle.

VII. *Entrefer équivalent.* — Dans le cas où les pièces polaires sont chanfreinées, j'ai introduit l'entrefer équivalent qui représente la valeur moyenne de l'entrefer, variable aux différents endroits de la pièce polaire.

VIII. *Induction dans les dents.* — Pour prévenir des objections, je dois dire que l'induction maxima dans les dents n'est pas calculée très exactement et les valeurs indiquées dans le tableau ne sont qu'approximatives.

IX. La même observation s'applique aussi aux *ampères-tours pour la couronne reliant la base des noyaux d'électros.* Cette couronne fait, dans la plupart des machines, fonction de volant.

Les machines du tableau présentent beaucoup de diversité sous plusieurs rapports. La puissance varie de 215 à 5 000 kilovolts-ampères ; elle est cependant pour la plupart au voisinage de 1 000 kilovolts-ampères. Au point de vue de la construction mécanique tous les systèmes possibles sont représentés, mais les dynamos-volants à inducteurs tournant à l'intérieur de l'induit dominent. La vitesse angulaire et la fréquence varient moins ; la première reste comprise entre 72 et 250 t : m, la seconde est pour la grande majorité de 50 périodes par seconde, ou environ ; trois alternateurs seulement ayant 25 périodes et un 32.

Dynamos volants. — L'emploi des inducteurs comme volant du moteur à vapeur impose les grands diamètres des alternateurs, observés à l'Exposition. Pour assurer à l'induit fixe la grande rigidité que nécessite la valeur de l'entrefer relativement petite en comparaison avec les dimensions de la machine, on a utilisé plusieurs moyens, dont un seul, pour les grandes machines, est vraiment pratique : c'est de maintenir l'induit entre deux plaques latérales munies de bras. Cette construction permet de réduire le poids de fonte au minimum. La maison Brown-Boveri et Cie paraît être la première qui l'ait employée. Les constructeurs qui n'ont pas adopté ce système donnent au bâti de l'induit une section très forte et une hauteur radiale considérable ; outre un grand poids, cette construction implique encore une augmentation du diamètre.

Vitesse circonférentielle. — Pour satisfaire aux conditions que nécessite la construction des dynamos-volants [1] beaucoup d'alternateurs ont une vitesse circonférentielle trop grande. Pour une machine (n° 21 du tableau), cette vitesse atteint même 38,5 m : seconde ; il est vrai que c'est la

---

X. *Ampères-tours pour le joint entre pôles et volant.* — Le joint se trouve juste dans l'endroit du circuit magnétique ayant la plus grande induction, et on ne devrait pas le négliger. C'est pourquoi j'ai partout supposé un entrefer de 1/4 de mm pour le joint, et calculé les ampères-tours nécessaires pour cet entrefer. L'induction dans le joint est différente selon que les pôles sont plus ou moins encastrés ou pas encastrés du tout.

XI. *Ampères-tours sans réaction.* — Les ampères-tours sans réaction, indiqués dans le tableau, s'entendent pour pleine charge sur facteur de puissance minima. C'est-à-dire que les ampères-tours sans réaction sont calculés avec une dispersion qui correspond à l'excitation nécessaire pour la dite charge.

XII. *Constante de réaction.* — Cette constante est exprimée par le quotient $\frac{\text{ampères-tours-induit}}{\text{ampères-tours sans réaction}}$. Suivant ce qui a été dit, comme ampères-tours sans réaction, ont été introduit les ampères-tours sans réaction ($\cos \varphi$ min).

XIII. *L'excitation sur charge non inductive* n'a pas été calculée très exactement. Elle est estimée seulement et n'est qu'approximative ; car pour la calculer exactement il aurait fallu déterminer encore la dispersion correspondante. Je me suis contenté de calculer exactement l'excitation en charge inductive et celle à vide en tenant compte de la dispersion différente dans les deux cas.

XIV. *Rendement.* Dans le cas de génératrices accouplées directement aux machines à vapeur, il est difficile de déterminer quelle partie du frottement doit être à la charge de la dynamo, surtout lorsque celle-ci fait fonction de volant. Aussi pour éviter cette difficulté, ai-je indiqué le rendement sans tenir compte du frottement et seulement pour la charge non inductive. Le facteur de puissance minimum étant, en effet, différent pour chaque alternateur, il serait impossible de comparer les rendements sous charge inductive.

XV. *Surface refroidissante.* — Lorsque l'induit ne contient pas de disques de ventilation entre les tôles, la surface de refroidissement est supposée généralement comme étant représentée par la surface de l'anneau de tôles formant la partie active de l'induit. Au cas où l'induit est ventilé, on peut tenir compte des disques en introduisant la moitié de leur surface. C'est ainsi que j'ai calculé la surface refroidissante de l'induit.

Comme surface de refroidissement des inducteurs, je n'ai compté que la surface cylindrique, sans tenir compte des deux bouts.

XVI. *Poids des inducteurs.* — Le poids des pôles en acier ou en tôle indiqué dans le tableau, comprend les pièces polaires, mais ne contient pas la partie du pôle encastrée dans le volant.

XVII. *Poids du fer et du cuivre.* — Le poids du fer est partout calculé en supposant une densité de 7,7. Celui du cuivre avec une densité de 9,0.

XVIII. — Les constantes des machines empruntées au dessin seulement sont soulignées. Les chiffres plus ou moins incertains sont marqués par un ? ou ??.

(1) L'emploi de l'inducteur des génératrices comme volant pour les machines à vapeur est assez répandu. Il y a cependant beaucoup de considérations qui prouvent que cette disposition n'est point recommandable malgré sa popularité, basée surtout sur des raisons purement esthétiques. Or, si les considérations esthétiques ont leur raison

plus puissante de toutes ; son débit étant de 5 000 kilovolts-ampères. Mais comme sa fréquence est de 25 périodes seulement, cette vitesse paraît fort exagérée. Le minimum de vitesse, 14 m : seconde, est atteint par une autre génératrice de même fréquence (n° 23 du tableau), la seule qui ait un volant spécial indépendant. Cette machine avec son débit de 1 000 kilovolts-ampères est caractérisée par ses petites dimensions. Un alternateur marchant à 50 périodes ne saurait guère avoir une vitesse si modérée. Aussi pour cette fréquence la vitesse minima est de 20,8 m : seconde ; (voir les nos 18 et 19 du tableau). Ces vitesses modérées sont atteintes par les machines de faible puissance (220 et 270 kilovolts-ampères). Pour les génératrices d'environ 1 000 kilovolts-ampères, ce chiffre est de 24 m : seconde au minimum. En général la vitesse circonférentielle doit être aussi petite que possible, pour éviter les effets de la force centrifuge sur les bobines inductrices et sur les pôles eux-mêmes. C'est donc encore une raison en faveur d'une réduction du diamètre.

Encoches. — Il y a trois formes principales. Elles peuvent être entièrement ouvertes, à demi ouvertes avec une fente plus ou moins large, et enfin entièrement fermées. Ces dernières ont l'avantage d'éviter ou de réduire au minimum les fluctuations du champ magnétique. Elles diminuent la résistance magnétique de l'entrefer et permettent d'employer des tubes isolants fermés, favorables à l'isolement de l'enroulement. Par contre, les isthmes en fer fermant les encoches augmentent la dispersion de l'induit, surtout lorsqu'ils ne sont pas assez minces. Le bobinage de l'induit est rendu plus difficile ; il doit être « cousu » et la place disponible dans l'encoche ne peut être entièrement utilisée pour permettre le bobinage.

Il est toujours préférable, quelle que soit la forme des tubes isolants, de couper les isthmes par une fente ; on peut ainsi considérablement réduire la dispersion de l'induit.

---

d'être dans la construction des machines lorsqu'elles sont d'accord avec les considérations d'ordre mécanique, elles doivent nécessairement céder le pas à celles-ci quand il y a contradiction entre les deux.

Les inconvénients des dynamos-volants consistent surtout en ce que ces machines réunissent deux éléments hétérogènes. Le diamètre du volant, d'une part, doit être aussi grand que possible pour en réduire le poids, et d'autre part, il est en général limité par la vitesse circonférentielle admise. Cette vitesse est d'environ 30 m : s lorsque le volant n'est pas utilisé pour la transmission, par courroie, par câbles, etc. Quant au diamètre de l'alternateur, il est déterminé par des considérations tout à fait autres, comme le nombre de pôles, la dispersion, le rendement et l'échauffement. Ce ne peut donc être que dans des cas spéciaux que des conditions de nature si différente donnent le même résultat. Un de ces cas se présente généralement dans les alternateurs accouplés directement avec la machine à vapeur pour les très grandes puissances, à partir de 2 000 kilovolts-ampères peut-être, et pour les alternateurs à vitesse plus élevée. Ce n'est que dans le cas où le diamètre calculé du volant et celui de la dynamo (partie tournante) se rapprochent, qu'on devrait employer la partie tournante de l'alternateur comme volant. Dans la grande majorité des cas on arrive à des proportions qui sont favorables pour le volant seul, ou pour l'alternateur seul ou bien qui ne sont favorables ni pour l'un ni pour l'autre.

Si le volant est accommodé au diamètre normal de la génératrice, la masse de fonte devient d'ordinaire énorme. La machine devient plus coûteuse et en même temps le rendement diminue à cause du frottement dans les paliers, augmenté d'une part par le grand poids, de l'autre par le diamètre de l'arbre qui doit être plus fort à cause de ce poids.

Lorsque, au contraire, on veut donner la préférence au volant et qu'on construit la génératrice avec un diamètre trop grand, on aura moins de fonte additionnelle dans les inducteurs, mais la qualité de l'alternateur en souffrira certainement. Il y aura trop de fer dans l'induit et trop de cuivre, car toutes les longueurs moyennes augmentent, et les pertes dans le fer aussi bien que celles dans le cuivre seront plus grandes. En outre, le poids de fonte qu'on gagnera sur le volant ou au moins une grande partie de ce poids, devra être mis dans le bâti de l'induit pour lui assurer la rigidité indispensable exigée par l'augmentation du diamètre.

On voit donc que, sauf les cas relativement rares où l'alternateur par lui-même, et tout naturellement, doit avoir une vitesse circonférentielle suffisante, égale ou du moins rapprochée de celle d'un volant normal, il n'est jamais pratique d'employer des alternateurs-volants. Ces machines n'ont, en général, point d'avantages sérieux pour le client, à cause du rendement inférieur et de leur prix plus élevé.

Elles présentent par contre pour le constructeur des inconvénients graves en ce que la main d'œuvre augmente très vite avec le diamètre et qu'il ne lui est pas possible de donner à l'alternateur les dimensions normales qui permettent de réduire au minimum les frais de matière première et de main-d'œuvre. On peut dire qu'une machine-volant exigeant un diamètre trop grand aura toujours un prix de revient plus considérable qu'une machine de construction normale, et de plus un rendement inférieur.

Ainsi l'avantage de nature principalement esthétique présenté par les dynamos-volants se trouve payé trop cher.

***

En choisissant une fente étroite on ne change rien dans ces conditions, sauf une diminution de la dispersion. On a cité comme avantage des encoches fermées que la dispersion de l'induit entre marche à vide et à pleine charge varie moins, les isthmes étant plus ou moins saturés déjà à vide. Mais ce ne sont pas les isthmes saturés à vide qui interviennent pour la dispersion en pleine charge, à moins qu'elle ne soit purement inductive ($\cos \varphi = 0$). En charge non inductive les isthmes saturés par la dispersion de l'induit se trouvent juste vis-à-vis des pôles et à 90° de ceux saturés à vide (360° représentant la partie de la circonférence comprise par deux pôles). Avec une charge partiellement inductive ce raisonnement est juste en partie ; cependant il est certain qu'il y a intérêt à réduire la dispersion au minimum et que par conséquent les encoches fendues seront toujours préférables, puisque en tout cas la dispersion à pleine charge sera inférieure.

En adoptant une fente convenable et assez large pour pouvoir y passer le fil induit, on peut simplifier le bobinage. On n'est plus obligé de coudre si le tube isolant est fendu, lui aussi. De cette façon on utilise mieux la place disponible dans l'encoche car on peut alors forcer les fils dans l'encoche et les fixer après à l'aide d'une cale, qui en même temps ferme la fente de l'encoche (1).

Le principal avantage des encoches ouvertes est d'assurer un bobinage très facile. Par contre la résistance magnétique de l'entrefer est plus grande, pour un nombre d'ampère-tours donné, l'entrefer doit être plus petit qu'avec des encoches à moitié fermées.

Sur les 23 machines du tableau 11 ont des encoches à demi-ouvertes, 6 des encoches fermées et autant les ont entièrement ouvertes.

Nombre d'encoches par pole. — Pour les alternateurs triphasés il varie entre 3 comme minimum et 15 comme maximum. Ce maximum est atteint par le n° 1 du tableau. Une machine a 12 encoches (n° 21), une 7,5 (n° 15), 10 ont 6 encoches et 7 en ont trois seulement ; enfin une machine monophasée (n° 17) a 2 encoches par pôle. On voit que le nombre de 6 encoches par pôle prédomine ; c'est d'ailleurs le chiffre le plus favorable.

Avec 3 encoches la courbe de la force électromotrice s'éloigne trop de la sinusoïde, l'harmonique de 3e ordre se laisse trop sentir ; de plus un nombre si limité d'encoches donne lieu à des fluctuations du champ et les pièces polaires devraient être lamellées pour éviter un échauffement appréciable. Avec 6 encoches l'harmonique de 3e ordre disparaît et les fluctuations diminuent de façon à permettre l'emploi de pièces polaires solides. En outre les encoches restent encore assez grandes et on ne perd pas trop de place pour l'isolement, comme c'est le cas avec un nombre d'encoches trop grand (2).

---

(1) Ce procédé de bobinage des induits est peut-être le plus répandu en Europe, où en général on emploie encore le bobinage à la main. On commence cependant à reconnaître les avantages du bobinage avec des cadres préparés d'avance, préconisé par les Américains, et il faut le considérer comme le bobinage de l'avenir. Il présente, en effet, beaucoup d'avantages sur le bobinage à la main.

Les cadres sont préparés d'avance sur un gabarit et sont absolument égaux, de façon qu'on puisse remplacer en peu de temps un cadre abîmé ; on peut toujours avoir des cadres en réserve pour être prémuni contre tout accident. De plus, l'enroulement est ainsi plus sûr, chaque cadre étant essayé avant la mise en place, et son isolement pouvant être vérifié immédiatement après cette mise en place. La construction de l'enroulement est plus mécanique, l'enroulement lui-même plus régulier et plus résistant. Outre cette supériorité incontestable, le bobinage à cadres a encore celle d'être moins cher et de prendre moins de temps, car il n'exige pas le soin méticuleux que doit mettre le bobineur à la main.

Comme preuve que les avantages du bobinage avec cadres commencent déjà à être appréciés, on peut dire qu'un certain nombre d'entre les machines de l'Exposition étaient munies d'enroulements de ce genre. A l'exception d'une seule (n° 13, établie par l'auteur lui-même), toutes ces machines ont des encoches entièrement ouvertes. Il est pourtant assez facile d'employer l'enroulement sur gabarit avec des encoches à-demi-fermées, et on évite ainsi tous les inconvénients propres aux encoches ouvertes : fortes fluctuations dans les pôles qui ont pour conséquence des pertes d'énergie considérables, à moins qu'on ne lamine les pièces polaires ou qu'on ne choisisse des encoches très étroites.

L'alternateur n° 13 a une fente de 10 mm avec un entrefer de 8,5, et une largeur d'encoche de 24 mm. Les pièces polaires peuvent donc rester solides (non lamellées).

(2) On ne devrait pas dépasser 9 encoches par pôle, ce qui est déjà un chiffre très élevé. Pour une génératrice à haute tension (10 000 volts, par exemple), l'isolement joue un rôle assez important et prend d'autant plus de place

Enroulement de l'induit. — J'ai déjà parlé de deux façons de bobiner l'induit : à la main et avec cadres faits sur garabit. Il y a encore l'enroulement à barres qui, en somme, appartient au dernier mode de bobinage. Sauf pour les très grandes machines, il ne s'emploie que pour les basses tensions et d'ordinaire avec une barre seulement par encoche.

Cependant avec une denture donnée, il n'est possible d'employer qu'un nombre limité de voltages : on peut monter les phases en triangle ou en étoile, mettre un, deux, trois, etc. fils par encoche, mais ces combinaisons sont vite épuisées. Pour fabriquer des machines courantes avec enroulement à barres il faudrait donc souvent employer une denture différente, procédé peu favorable à une fabrication économique. Toutefois, cet enroulement, une fois adopté malgré l'inconvénient cité, est très pratique et facile à faire, tout en présentant une grande sécurité.

L'enroulement des alternateurs triphasés se fait généralement à bobines longues, c'est-à-dire que chaque bobine de l'induit embrasse un pas des pôles, soit 180°. D'entre les machines du tableau une génératrice seulement est enroulée à bobines courtes, embrassant la moitié du pas des pôles (90°), c'est le n° 3. Dans ce cas une partie seulement du flux venant d'un pôle (dans notre exemple deux tiers) traverse la bobine. Ce mode d'enroulement n'est d'ailleurs guère recommandable, d'abord parce qu'avec un flux total donné il exige beaucoup plus de fils induits (dans notre exemple 50 p. 100 en plus) et que la longueur moyenne d'un fil diminue relativement très peu. La résistance et le poids du cuivre de l'induit sont donc relativement trop grands et en outre avec l'augmentation de la charge une partie de plus en plus grande du flux passe à côté et non à travers les bobines. Ce dernier effet s'ajoute encore à la réaction d'induit. Ces inconvénients ne sont balancés par aucun avantage parlant en faveur des bobines courtes.

Fil induit. — Pour les basses tensions le fil est généralement remplacé, comme nous l'avons vu plus haut, par des barres solides en cuivre, réunies entre elles par des fourches de section équivalente.

On emploie aussi souvent, lorsque la section du conducteur doit être grande, une bande en cuivre enroulée en plusieurs couches sur un gabarit, isolée et constituant ainsi une bobine toute faite avant d'être placée sur l'induit.

Cet enroulement à bande n'est, en général, applicable qu'avec des encoches ouvertes. Il permet d'utiliser convenablement la place disponible dans l'encoche. Ceci n'est au contraire pas le cas avec l'emploi, pratiqué souvent, de câbles ronds tressés et guipés, pour les sections des conducteurs assez fortes [1].

Entrefer. — La grandeur de l'entrefer, dans les machines qui nous occupent, varie beaucoup. Pour les grandes machines il est en moyenne de 6 à 8 mm, une de ces machines (n° 7) n'ayant que 4,5 mm pour un diamètre intérieur de l'induit de 5 m.

Plus l'entrefer est grand moins on a à craindre les conséquences de l'usure des paliers et de l'inexactitude du travail, etc. Par mesure de sécurité, l'entrefer devrait augmenter avec le diamètre de la partie tournante des alternateurs. Il peut être plus petit dans les machines de faible puissance et de petit diamètre.

---

que le nombre d'encoches est plus grand. En l'augmentant, il faut, pour placer les fils nécessaires, adopter des encoches plus profondes au détriment du rendement de la machine. En effet, avec la profondeur des encoches, les pertes dans les dents augmentent, et en même temps la dispersion de l'induit et le poids des pôles deviennent aussi plus grands. Il faut donc éviter les extrêmes et adopter 6, ou au maximum, 9 encoches.

Quelques constructeurs ont cru bon d'avoir un nombre élevé d'encoches pour diminuer la dispersion de l'induit. Mais cette raison n'est pas bonne, car en gardant la même proportion entre les largeurs de la fente et de l'encoche et les pas des dents, la dispersion dépend uniquement de la profondeur des encoches et non de leur nombre.

[1] C'est un luxe difficile à justifier que d'employer des câbles là où un autre conducteur permettrait de réduire notablement les dimensions des encoches, luxe qui revient assez cher au constructeur et au client. En effet, une encoche trop grande entraîne toujours une augmentation des dimensions générales et du poids de matière active, et par là elle diminue le rendement. Il faut donc, autant que possible, éviter l'emploi de câbles et les remplacer, soit par un fil solide ou plusieurs fils en parallèle, soit, encore mieux, par un fil rectangulaire.

Le fil rectangulaire utilise le mieux la place disponible dans l'encoche, mais son application est difficile avec le bobinage à la main. C'est donc un avantage de plus en faveur du bobinage sur gabarit.

Quelques machines ont des entrefers relativement très grands, ainsi la machine n° 18 ayant 10 mm d'entrefer avec une puissance de 220 kilovolts-ampères et un diamètre intérieur de 360 cm.

Pour tenir compte des considérations d'ordre mécanique et en vue d'éviter des fluctuations du champ dans les pièces polaires, il est bon d'avoir un entrefer aussi grand que possible. D'autre part un entrefer trop grand fait dépenser trop de cuivre sur les inducteurs. Donc en général on ne le choisira pas trop petit et pas trop grand non plus pour qu'il puisse satisfaire aux deux conditions citées. A autres conditions égales, je donnerai toujours la préférence à la machine dont l'entrefer est le plus grand.

Pièces polaires. — Voici un élément de la construction des alternateurs qui laisse beaucoup de marge au constructeur. Ces pièces peuvent être lamellées ou massives, chanfreinées ou plates, larges ou étroites, etc. Nous aurons donc à discuter toutes ces formes.

Les pièces polaires solides (non lamellées) peuvent être employées partout où il n'y a pas à craindre les pertes d'énergie, et partant l'échauffement des pièces polaires, occasionnées par une répartition trop inégale du flux sur leur surface. Les induits à larges encoches ouvertes ou munies de fentes très larges par rapport à l'entrefer, comme également ceux à trop petit nombre d'encoches (par exemple 3 seulement par pôle) exigent des pièces polaires lamellées.

Elles peuvent rester solides lorsque, avec au moins 6 encoches par pôle, la largeur de la fente ne dépasse pas de plus de 50 p. 100 l'épaisseur de l'entrefer. C'est du moins l'avis de l'auteur, basé sur l'expérience faite avec un grand nombre d'alternateurs de toute grandeur.

Les pièces polaires lamellées, permettent l'emploi de chaque forme d'encoche voulue, indifféremment, mais lorsqu'on veut les appliquer sur les électros solides on arrive à des procédés coûteux et peu pratiques. Aussi a-t-on abandonné aujourd'hui cette disposition assez répandue jadis, et dans notre tableau il n'y a plus qu'un seul représentant de ce genre (le n° 6 du tableau, dont les pièces polaires ont une grande hauteur radiale et occasionnent une forte dispersion). Par contre on voit beaucoup de génératrices dont les épanouissements polaires lamellés sont d'une seule pièce avec les noyaux d'électros lamellés aussi [1].

Le point le plus important est celui de l'angle d'embrassement de la pièce polaire. Il varie dans les alternateurs du tableau entre 0,48 et 0,8 du pas des pôles. Dans 5 machines, ce chiffre est de 0,75 ou au delà, pour 5 autres il varie entre 0,48 et 0,51, pour 9 il est assez exactement de 2/3. On voit donc que l'embrassement de 2/3 du pas prédomine. C'est ce chiffre qui donne une courbe la plus rapprochée de la sinusoïde. La plupart des constructeurs arrondissent un peu les pièces polaires, un certain nombre d'entre eux leur donnent un chanfrein, plus ou moins prononcé, pour se rapprocher encore davantage de la sinusoïde. Toutefois ce dernier procédé

---

(1) On a eu des difficultés avec la marche en parallèle des génératrices à pièces polaires lamellées, et, pour les éviter, l'on a été réduit à employer des expédients, tels que l'amortisseur Hutin-Leblanc, etc. On a proposé aussi au lieu de cet amortisseur, de forts anneaux en bronze autour des électros pour atteindre le même but.

Il me semble toutefois que c'est bien compliquer une chose simple que de lameller d'abord les pôles pour y mettre ensuite un amortisseur !

On arrive aux mêmes résultats en laissant les pôles simplement solides et je n'ai jamais eu de difficultés avec la marche en parallèle des machines construites ainsi.

Il est, du reste, évident que la masse en acier des pièces polaires remplit tout aussi bien le rôle de l'amortisseur et ce serait rendre illusoire l'emploi du fer lamellé que d'y appliquer l'amortisseur.

Quant aux anneaux en bronze, on comprendra facilement qu'ils ne peuvent avoir aucun effet, étant donné que le même but est déjà toujours rempli par les bobines d'excitation, lesquelles sont toujours en court-circuit sur l'induit de l'excitatrice. Donc, par là même, aucune fluctuation sérieuse du flux ne saurait entrer dans les pôles, à cause de la self-induction énorme des bobines. Que l'alternateur soit monophasé ou polyphasé, le flux à l'intérieur des bobines inductrices sera toujours pratiquement constant, la moindre variation étant immédiatement égalisée par des courants occasionnés dans les bobines.

Il y a cependant un moyen d'augmenter la stabilité de la marche en parallèle, et qui peut aussi bien être appliqué aux pôles lamellés et solides, c'est de mettre entre les épanouissements polaires de fortes plaques en cuivre ou en bronze. Ce procédé est appliqué à la machine n° 21. Il est généralement adopté dans les machines Westinghouse, et rend de bons services aux installations actionnant des convertisseurs, en supprimant ce qu'on appelle en Amérique le « hunting ».

présente l'inconvénient qu'avec un entrefer minimum donné et suffisant au point de vue mécanique, l'entrefer moyen, intervenant pour le calcul de l'excitation, est plus grand.

L'épaisseur, ou hauteur radiale de l'épanouissement polaire, doit être aussi faible que possible, pour réduire la dispersion entre les points les plus rapprochés, et pour cette même raison l'embrassement ne doit pas être trop grand. D'autre part, la pièce polaire doit retenir la bobine excitatrice et la protéger contre les forces centrifuges. En même temps elle ne peut être trop mince car autrement le flux ne se repartirait pas assez régulièrement sur toute la surface polaire. Il y a donc à étudier beaucoup de conditions qui influent dans un sens ou l'autre, et cela nous explique la grande variété qu'on trouve en matière de pièces polaires.

Pôles. — On trouve des pôles de section rectangulaire, ovale et circulaire. Ils peuvent être lamellés ou solides, longs et courts et enfin encastrés ou non, ou bien même élargis à la base.

La section rectangulaire ne devrait être employée qu'avec des pôles lamellés; ici elle est la seule possible ([1]).

Dans la grande majorité des cas on peut construire toutes les génératrices avec pôles ronds et ce n'est qu'ainsi qu'on arrive à une construction vraiment économique. On peut employer les pôles ronds sans obtenir une vitesse circonférentielle trop considérable à l'exception seule peut-être des machines très puissantes, marchant à grande vitesse angulaire. Des machines du tableau, 9 ont des pôles ronds, 7 les ont lamellés.

La longueur radiale des électros doit dans une certaine mesure être déterminée par l'énergie qu'on veut sacrifier à l'excitation, mais il ne faut pas oublier que la dispersion entre deux noyaux augmente proportionnellement avec cette longueur et qu'on est obligé d'adopter une section plus forte si la dispersion est grande.

Il faut donc éviter des électros très longs; la longueur ne doit pas, en moyenne, dépasser de beaucoup le diamètre. Quelques constructeurs tombent dans l'excès contraire en prenant des pôles très courts pour diminuer la dispersion, mais de cette façon l'épaisseur de l'enroulement de la bobine devient trop grande au détriment de la surface refroidissante et du rendement, ainsi que de l'économie de cuivre. Les machines du tableau présentant les conditions extrêmes sont la machine n° 3 avec 12 cm seulement et les machines n°s 6 et 9 avec 35 et 29 cm de longueur.

Dans une génératrice bien construite (excepté lorsqu'elle doit alimenter des convertisseurs) les noyaux d'électros doivent être fortement saturés pour réduire au minimum la chute de voltage entre la marche à vide et à pleine charge ([2]).

([1]) Il y a cependant des alternateurs à pôles solides, de section rectangulaire, mais c'est une disposition peu heureuse. En effet, en employant des pôles solides, on devrait leur donner une section circulaire, ou tout au moins ovale. Une forme, autant que possible arrondie, permet de réaliser une grande économie de cuivre, tout en réduisant les pertes d'énergie pour l'excitation.

La longueur moyenne d'une spire est, à section d'électro égale, la plus petite pour une forme circulaire.

Le noyau d'électro circulaire est donc le plus avantageux au point de vue de l'économie du cuivre et du rendement. Mais comme il n'est pas toujours possible d'employer des électros ronds, à cause de la place disponible, il faut du moins s'en rapprocher et adopter dans ce cas une section ovale. D'ailleurs les bobines rondes ou ovales sont plus faciles à bobiner que celles de forme rectangulaire.

Je viens d'expliquer les avantages des électros ronds et ovales. Ce sont à la fois des arguments en faveur des pôles solides et contre les pôles lamellés qui ne peuvent être autres que de section rectangulaire. Nous avons déjà vu plus haut que les pulsations du flux ne peuvent pénétrer dans l'intérieur des bobines excitatrices. Dès lors, l'avantage des noyaux polaires lamellés disparaît ; il ne reste donc que l'avantage des pièces polaires laminées, mais, comme nous l'avons démontré, cet avantage est encore très douteux, étant donné quele couplage en parallèle des alternateurs est plus difficile tant qu'on ne recourt pas à l'amortisseur.

([2]) En vue de cette saturation très forte quelquefois, il est donc d'une importance toute particulière de se servir pour les noyaux d'une matière dont on soit sûr. Il faut surtout éviter des soufflures, si fréquentes dans l'acier coulé. On a, par conséquent, souvent recours à l'acier comprimé ou forgé, donnant en même temps des dimensions exactes, car il est tout aussi important d'avoir exactement la section voulue que d'éviter les soufflures.

Pour ce même motif on pourrait attribuer une certaine supériorité aux noyaux lamellés où on n'a rien à craindre sous ce rapport, la perméabilité des tôles étant à la fois plus constante, quoique un peu inférieure à celle d'un bon acier. Mais nous avons vu plus haut à quel prix cet avantage serait acheté.

Beaucoup de constructeurs ont soin d'éviter une réluctance magnétique trop grande dans le passage du flux entre le noyau et le volant, surtout lorsque les électros en acier sont fortement saturés et que le volant est en fonte, beaucoup moins perméable. En effet, on trouve à la base des pôles souvent des inductions magnétiques dépassant 18000, chiffre qui pour la fonte exigerait un nombre d'ampères-tours pratiquement impossible (1).

ENROULEMENT INDUCTEUR. — Les bobines inductrices doivent être dimensionnées d'après le principe : minimum de cuivre avec maximum de rendement. Pour obtenir ce résultat il faut surtout que la longueur moyenne d'une spire d'électro soit aussi réduite que possible. Il faut donc éviter tout ce qui peut augmenter la longueur des spires : le jeu entre la bobine et le noyau doit être petit, comme aussi l'épaisseur radiale de l'isolement entre noyau et enroulement, soit l'épaisseur de la carcasse isolante. Pour la même raison cette carcasse doit être faite de préférence en papier mâché, ou en matière isolante semblable, au lieu d'être en métal (laiton ou zinc), car dans ce dernier cas il faut encore isoler l'enroulement de ce métal, tandis qu'avec une bobine en papier, etc., ce n'est plus nécessaire.

La longueur moyenne d'une spire dépend encore de la hauteur ou épaisseur de l'enroulement. La spire est d'autant plus courte qu'il y a moins de couches de fil et que la hauteur d'enroulement est plus faible. En même temps la ventilation des bobines est meilleure et on peut appliquer une plus grande densité de courant sans échauffement nuisible.

Comme l'enroulement inducteur est sujet aux forces centrifuges, souvent très fortes, aux vibrations occasionnées par la marche à vitesse assez élevée, il doit être résistant mécaniquement.

Pour cette raison il faut éviter les fils ronds dont l'isolement peut souffrir facilement. Les fils rectangulaires, bien arrondis aux coins, sont de beaucoup préférables, mais autant que possible il faut employer l'enroulement à bande sur champ, lequel tout naturellement résiste le mieux aux forces centrifuges, vibrations, etc. Cet enroulement est le plus résistant mécaniquement sous tous les rapports et on l'applique de plus en plus, depuis que M. Brown l'a introduit dans la pratique industrielle. Il est surtout très pratique et facile à faire avec les alternateurs à pôles ronds; il permet de se passer entièrement de bobines. Il est intéressant d'observer que les enroulements les meilleurs au point de vue mécanique le sont aussi au point de vue de l'économie de cuivre et du rendement électrique.

Le plus avantageux est l'enroulement à bande sur champ, il permet de réduire au minimum la hauteur d'enroulement, la longueur moyenne, et partant le poids du cuivre, la perte par l'excitation et l'échauffement. Le fil rond est le moins favorable, celui de section rectangulaire étant intermédiaire.

Ces qualités des diverses méthodes de bobinage dépendent directement de l'utilisation de la place disponible pour l'enroulement inducteur (2).

---

(1) On peut remédier à cet inconvénient en encastrant les pôles dans la fonte ou en les élargissant à la base pour agrandir ainsi la section du passage et pour arriver à une induction inférieure dans la fonte. La pratique montre cependant qu'on peut fort bien se passer de ces deux procédés et que cette induction trop forte dans la fonte n'est pas tellement à craindre. Le flux passe en partie à côté par l'air, il se produit une dispersion favorable sans occasionner une augmentation notable des ampères-tours.

Pour arriver à un résultat correspondant mieux à la vérité, l'auteur ajoute toujours au calcul des ampères-tours ceux nécessaires pour les joints entre électros et volant, en supposant 0,25 mm d'entrefer pour chaque joint.

(2) Un exemple nous montre les qualités relatives : Dans le cas d'une section nécessaire du fil inducteur de 120 mm^2, on peut mettre dans une place donnée : 30 spires de fil rond, 39 spires de fil rectangulaire à coins arrondis, et 44 spires de bande sur champ. Pour une section de 50 mm^2, la bande sur champ n'est plus si avantageuse, elle donne environ le même résultat que le fil rectangulaire, car l'isolement entre deux couches de bande prend d'autant plus de place que la bande est plus fine. Voici les chiffres trouvés : Fil rond 66 spires, fil rectangulaire 86, et bande sur champ 87 spires. On voit que pour des sections inférieures à 50 ou 60 mm^2, le fil rectangulaire est déja préférable, étant donné qu'il est plus facile à bobiner et que la bande est d'une application plus difficile lorsqu'elle devient trop mince.

Les chiffres indiqués nous donnent cependant un résultat incontestable, c'est qu'il ne faut jamais employer du fil rond.

Il reste encore une façon de bobiner les inducteurs : la bande mise à plat. Dans les deux cas cités, les chiffres

Parmi les machines du tableau, 14 ont un enroulement à ruban sur champ, 3 sur plat, 3 sont munies de bobines à fil rond et 2 de fil rectangulaire.

Quelques constructeurs croient pratique de ne bobiner qu'un pôle sur deux. Mais, comme pour un nombre d'ampères-tours donné le nombre total de spires est déterminé, il en résulte qu'il faut mettre sur une bobine deux fois autant de spires qu'en bobinant chaque pôle. La hauteur d'enroulement est par conséquent trop grande, ce qui a pour conséquence tous les inconvénients dont nous avons parlé déjà. En outre la dispersion augmente considérablement et en résultat définitif on obtient une machine plus lourde, plus coûteuse et un rendement légèrement inférieur.

Densité de courant. — Le nombre d'ampères par millimètre carré qu'on peut admettre dans l'induit des alternateurs de grande puissance est d'ordinaire très considérable [1].

La densité de courant maxima dans l'induit atteint 5,2 ampères par millimètre carré. En moyenne elle dépasse 3 ampères par millimètre carré. Sur les 23 alternateurs du tableau, 5 ont cependant une densité inférieure à 2, tandis que pour 8 machines elle dépasse 4 ampères par millimètre carré. En comparaison avec ce qu'on est habitué à voir dans les dynamos à courant continu, ce sont, certes, des densités très élevées.

Pour la densité de courant dans les bobines inductrices nous avons les mêmes observations à faire. Ici l'utilisation du cuivre est dans la majorité des cas très grande aussi.

Elle n'est pas, bien entendu, aussi bonne que dans l'induit à cause de la ventilation moins énergique, mais toujours la densité est-elle relativement plus grande que dans les dynamos à courant continu. Pour plusieurs machines du tableau elle atteint le chiffre de 3 ampères par millimètre carré ou presque. Pour 12 machines sur 23 du tableau elle dépasse 2 ampères par millimètre carré. En général, malgré ces densités assez grandes les bobines d'électros sont loin de chauffer [2].

Flux par pôle. — C'est la constante la plus importante de chaque machine électrique que nous allons discuter maintenant. Le flux par pôle détermine en effet toutes les qualités des machines : il détermine l'échauffement, la réaction d'induit, bref tout, et les dimensions principales de chaque machine en dépendent en premier lieu. Lorsque, pour un alternateur donné, on peut, en gardant la même chute de potentiel et le même échauffement, adopter un flux plus faible, c'est autant de gagné sur ses dimensions et presque autant sur le prix.

Pour calculer le flux avec un enroulement donné, divers auteurs recommandent de se servir de différents coefficients dits « de forme » selon le nombre d'encoches par pôle et l'angle d'em-

---

correspondants seraient d'environ 35 et 67 spires respectivement. Or, cet enroulement n'étant pas toujours facile à faire, est peu pratique à cause de l'épaisseur relativement grande de l'isolant entre deux couches de la bande. Cet isolant ne peut être trop mince, car les frottements intérieurs, résultant par exemple des forces centrifuges, pourraient facilement le percer.

[1] Étant donné l'excellente ventilation de ces machines, dont la largeur est presque toujours très petite en comparaison avec le grand diamètre, l'échauffement du cuivre n'est pas tellement à craindre, et d'autant moins qu'une grande partie de l'enroulement se trouve en dehors des encoches, où une énorme quantité d'air circule constamment. Au point de vue du rendement une grande densité n'est pas défavorable non plus, du moins dans une certaine mesure. Une diminution de la section de cuivre permet, en effet, de réduire la profondeur de l'encoche, l'induction dans les dents restant la même, ou bien, à profondeur d'encoche égale, de réduire la largeur de l'induit. Ainsi, en général, on aura moins de perte dans le fer et la longueur moyenne d'un fil d'induit diminuera. On réalise donc une économie dans le cuivre et même dans le fer sans rien changer au rendement. Il est bien naturel, cependant, que ce raisonnement ne peut s'appliquer qu'aux machines où les pertes dans le fer prédominent.

[2] Leurs dimensions sont d'ordinaire très petites en comparaison avec celles des dynamos à courant continu, ce qui permet déjà d'élever un peu la densité ; de plus, elles tournent avec une vitesse très considérable et si on n'arrive pas à des densités encore beaucoup plus grandes, c'est qu'on veut garder un bon rendement. Il est aussi possible qu'un constructeur timide qui n'a pas assez d'expérience craint un échauffement démesuré en s'éloignant trop des proportions adoptées généralement pour le courant continu.

En vérité, on peut, en ayant soin d'adopter une construction rationnelle, aller tranquillement jusqu'à une densité de 3 amp : mm² sans obtenir un mauvais rendement et sans échauffement appréciable. On arrive ainsi à une machine très économique.

brassement polaire. Cette méthode n'étant quand même pas absolument exacte, tout en compliquant beaucoup la chose, l'auteur a calculé simplement le flux en employant le facteur 1,11 lequel donne pour des alternateurs de construction courante des résultats suffisamment rapprochés de la réalité. Ceci s'applique pour l'enroulement induit à longues bobines. Pour les bobines courtes, le même coefficient est de rigueur, mais il faut introduire seulement la partie du flux qui traverse une bobine de l'induit. Le flux total s'obtient alors en multipliant le résultat trouvé par la proportion entre l'angle d'embrassement du pôle et celui de la bobine.

Induction magnétique. — Entre toutes les inductions, celle dans les dents est peut-être la plus importante, car il y a tout intérêt à saturer les dents autant que possible ([1]).

Huit machines du tableau ont une induction de 16 000 ou au delà, dont deux environ 20 000 (20700 et 19900).

L'induction dans le noyau de l'induit dépend de la fréquence, elle peut être d'autant plus élevée que la fréquence est plus faible. Pour 50 périodes, l'induction est en moyenne de 4 000 à 5 000, mais les chiffres extrêmes sont 2 800 et 7 100 ([2]).

L'induction dans l'entrefer n'a aucune importance directement. Il n'est nécessaire de la connaître que dans le but de calculer les ampères-tours pour l'entrefer. La section de l'entrefer dépend beaucoup de la forme des pièces polaires, des fentes aux encoches et de la forme de ces dernières comme aussi du nombre et de la largeur des couronnes ou disques de ventilation, divisant les tôles de l'induit en plusieurs paquets tenus en distance par ces couronnes.

Plus intéressante que l'induction dans l'entrefer est l'intensité du champ magnétique en supposant le flux réparti sur toute la surface intérieure de l'induit (excepté les couronnes de ventilation). Elle fournit une mesure de l'utilisation magnétique de la surface disponible, et nous montre si une machine travaille à flux fort ou faible. Nous voyons dans le tableau que cette constante varie entre 3 420 et 6 000 et que relativement les variations ne sont pas considérables.

Il nous reste encore à discuter l'induction dans les pôles, point d'une importance capitale pour la construction des alternateurs, du moins des alternateurs destinés à l'alimentation des réseaux d'éclairage, de moteurs asynchrones, etc. Pour les alternateurs alimentant des convertisseurs compound et marchant à faible fréquence les conditions sont tout à fait différentes ; nous en parlerons après. Actuellement il s'agit des alternateurs à faible chute de tension, faits pour la marche sur charge inductive. Dans le cas, de beaucoup le plus fréquent, de génératrices de ce type,

---

([1]) Anciennement on craignait une forte saturation avec une fréquence de 50 périodes et on tâchait de rester en dessous de 14 à 16 000. Aujourd'hui encore, beaucoup de constructeurs ne vont pas au delà. Cependant la pratique a démontré qu'il n'y a rien à craindre, et qu'au contraire les pertes dans les dents, par hystérésis et courants de Foucault, diminuent d'ordinaire lorsqu'on augmente l'induction dans les dents. Bien entendu cependant, cela n'a lieu que lorsqu'on diminue en même temps la profondeur, tout en augmentant la largeur de l'encoche. Il est évident, au contraire, que les pertes augmentent rapidement avec l'induction croissante lorsqu'on considère les mêmes dents.

L'avantage d'une saturation plus forte se fait sentir en ce que la perte par unité de volume augmente, il est vrai, mais moins rapidement que le volume diminue. De plus, une faible profondeur de l'encoche rendue possible par l'induction plus forte permet de réduire la dispersion de l'induit. Donc, on peut dire que pour des dimensions de l'induit et un certain flux donnés, il est préférable d'avoir des dents saturées, la forte saturation conduisant indirectement à une réduction des pertes dans les dents.

([2]) L'auteur n'a pas tenu compte des boulons de serrage, qui, dans beaucoup de machines, traversent les tôles et diminuent la section du noyau. Il est évidemment préférable de placer les boulons en dehors des tôles, mais au point de vue de la construction cela entraîne des complications.

Les tôles de l'induit peuvent être plus fortement saturées avec une fréquence inférieure, comme 25 périodes par seconde. Dans ce cas, l'induction atteint environ 8 000 à 10 000 lignes par cm².

Théoriquement on devrait chercher à réduire au minimum l'induction dans le noyau d'induit, en vue de diminuer les pertes par hystérésis et courants de Foucault. Mais d'abord, ces pertes diminuent relativement peu avec la diminution de l'induction, étant donné que le poids augmente simultanément. Ensuite, l'induction ne diminue pas inversement à la section, à cause de la longueur croissante des lignes de force, et en dernier lieu une induction trop faible entraînerait un poids trop grand des tôles et serait ainsi payée trop cher. Pour 50 périodes on ne devrait pas aller au-dessous de 4 000 lignes et employer plutôt 5 000 à 6 000.

il y a intérêt à saturer fortement les électros. Le fait est assez connu aujourd'hui que les alternateurs à électros saturés ont, à autres conditions égales, une chute de voltage plus faible entre marche à vide et pleine charge inductive.

Aussi beaucoup de constructeurs s'en servent-ils déjà et dans le tableau nous rencontrons des inductions d'électros très élevées. L'induction maxima que j'ai trouvée est de 18 900, chiffre extrêmement haut, atteint par 3 machines. Il y a encore 7 autres machines où l'induction de 18 000 est dépassée. Mais, bien entendu, ce sont les inductions maxima, à la base des électros à l'endroit où la dispersion entière s'ajoute au flux utile ([1]).

L'induction dans les pôles diminue graduellement de la base jusqu'à la pièce polaire où elle atteint son minimum. Le tableau indique ce minimum constitué par le flux utile entrant dans l'induit plus la dispersion entre les pointes des pièces polaires.

L'induction minima est en général bien plus faible et atteint pour une machine seulement le chiffre de 17 000. Ainsi malgré une saturation paraissant exagérée à la base des pôles les ampères-tours nécessaires pour les électros restent dans des limites raisonnables.

Les alternateurs à faible fréquence, servant pour la plupart à alimenter des convertisseurs ont des conditions différentes à remplir. Dans ce cas, il s'agit d'ordinaire de compenser les pertes de voltage dans la ligne par une surexcitation des convertisseurs et les génératrices doivent pouvoir monter en voltage. Aussi ces génératrices se construisent-elles avec une saturation moins forte du fer, ce que du reste notre tableau confirme. Elles peuvent avoir une chute de voltage assez grande et celle-ci est souvent considérée comme favorable.

Dispersion des inducteurs. — Les bobines inductrices créent en dehors du flux qui doit traverser l'induit, chemin voulu, encore un flux dérivé, choisissant tout chemin possible à condition seulement que ce chemin passe par la bobine excitatrice ou une partie de cette bobine. La densité du flux de dispersion, ou l'induction aux différents endroits suffira toujours à la condition que la somme des forces magnétomotrices sur tout le parcours d'une ligne de force soit égale à la force magnétomotrice de la bobine ou de cette partie de la bobine qui enferme ladite ligne.

Comme conséquence de la dispersion, le flux à l'intérieur des bobines d'excitation est plus fort que celui qui doit entrer dans l'induit, soit le flux utile.

Le flux de dispersion ([2]) est d'autant plus fort que l'excitation augmente et, excepté pour des électros très fortement saturés, il lui est proportionnel.

On peut calculer avec une approximation suffisante les flux de dispersion, celui entre les pièces polaires, comme aussi entre les noyaux d'électros. Les réluctances magnétiques, celles respectives des deux flux, peuvent être estimées d'après les proportions géométriques données par le dessin.

Comme force magnétomotrice il faut adopter pour les pièces polaires les ampères-tours nécessaires pour l'entrefer et le fer de l'induit. Pour la dispersion entre noyaux, le minimum de la force magnétomotrice, à la base de l'électro, est nul, son maximum atteint le même chiffre que pour les pièces polaires. On n'a qu'à prendre la moyenne entre les deux pour calculer la dispersion entre noyaux.

Ces deux dispersions sont très différentes, selon la forme de l'arc d'embrassement des pièces polaires, la section et la longueur des noyaux et enfin selon la distance entre les pôles.

Pour 9 machines du tableau la dispersion entre pièces polaires est la plus grande, pour les autres c'est la dispersion entre les noyaux polaires qui prédomine. Le coefficient de dispersion varie également beaucoup. Son maximum atteint 1,74 (machine n° 5), chiffre énorme, dû surtout

([1]) Il est même douteux qu'une induction comme 18 900 ait réellement lieu et peut-être une partie des lignes de force passe-t-elle à cet endroit par l'air à côté, de sorte que l'induction dans le fer est inférieure. Il se produirait alors une dispersion utile. Mais comme il est difficile d'en tenir compte dans le calcul, l'auteur préfère indiquer simplement l'induction calculée de la façon ordinaire.

([2]) J'appelle *dispersion* la proportion entre le flux de dérivation et le flux utile ; *coefficient de dispersion*, le rapport entre flux total et flux utile. Pour une dispersion de 0,5, le coefficient de dispersion sera de 1,5.

****

au grand angle d'embrassement polaire (0,8 du pas) ; aussi la dispersion entre pièces polaires est-elle pour cette machine trois fois plus grande que celle entre noyaux.

Pour la machine n° 2, ce coefficient est de 1,59. Ici les deux tiers de la dispersion ont lieu entre les noyaux, la machine étant très large, peu saturée, et ayant des noyaux assez longs.

Le minimum du coefficient de dispersion 1,18, est obtenu par la machine n° 21, à pôles très courts et sans pièces polaires.

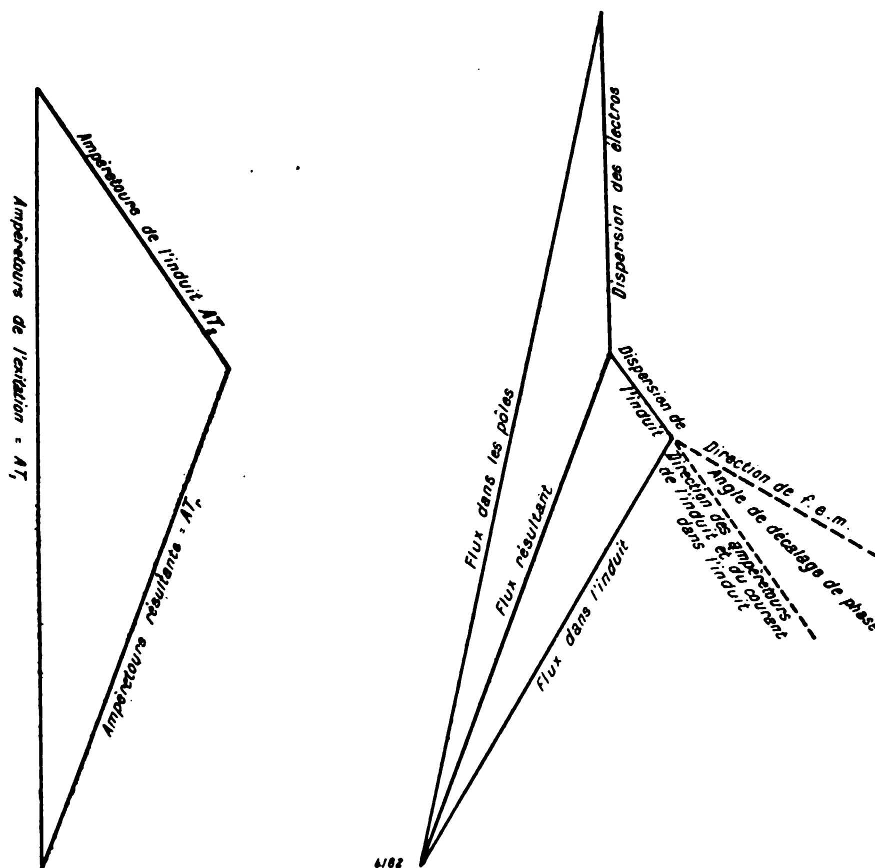


Fig. 1 et 2.

Anciennement on se contentait d'adopter un coefficient de dispersion donné pour chaque type de dynamo, mais la grande variété de ces coefficients que montre le tableau pour des machines d'un type semblable prouve qu'il faut absolument calculer la dispersion, et d'une façon aussi exacte que possible, du moins pour les génératrices à forte saturation. Sans un calcul pareil le constructeur pourrait facilement éprouver des surprises très désagréables [1].

Dispersion de l'induit. — L'enroulement de l'induit, lorsque la machine est chargée, produit aussi une force magnétomotrice que nous exprimons en ampères-tours. Ces ampères-tours de l'induit (ampères-tours secondaires : AT_2) se composent géométriquement et selon la phase du courant avec les ampères-tours des électros (ampères tours primaires : AT_1) pour fournir les ampères-tours résultants (AT_r), lesquels produisent le flux résultant, c'est-à-dire le flux qui passe par l'induit aussi bien que par les inducteurs.

[1] Pour diminuer la dispersion, les pôles doivent être courts et les pièces polaires minces, à angle d'embrassement modéré. En général, la dispersion peut être considérable sans aucun inconvénient, pourvu seulement qu'on s'en rende compte et que les noyaux polaires soient dimensionnés en conséquence. On admettra donc tranquillement une forte dispersion lorsque, avec, ou malgré cette dispersion, la machine en question sera la plus avantageuse.

A ce flux résultant, commun aux deux systèmes, s'ajoute dans le système inducteur (système primaire) le flux de dispersion primaire dont nous venons de parler. Également dans l'induit il s'y ajoute géométriquement le flux de dispersion de l'induit (dispersion secondaire).

Cette dispersion secondaire est, comme les ampères-tours secondaires, en phase avec le courant induit lequel forme avec la force électromotrice l'angle φ de décalage de phase. La force électromotrice vraie est à angle droit avec le flux résultant qui la produit et lui est proportionnelle. Les ampères-tours et la dispersion secondaire sont proportionnels au courant induit. Un diagramme expliquera mieux toutes ces relations.

Dans ce diagramme (fig. 1 et 2) les ampères-tours résultants (AT_r) sont parallèles au flux résultant, les flux de dispersion, primaire et secondaire, sont parallèles aux ampères-tours respectifs. Ce diagramme donne des résultats confirmés par de nombreux essais de l'auteur et d'autres constructeurs. On ne compte qu'avec des flux et des forces électromotrices qui réellement existent et on peut suivre exactement l'influence de la saturation, de la réaction d'induit des deux dispersions, etc. Toutes les autres méthodes de calculer la réaction d'induit, chute de voltage, traitant avec la self-induction de l'induit et avec différentes forces électromotrices composées géométriquement sont moins exactes et surtout d'une application difficile à la prédétermination des alternateurs [1].

Le diagramme montre que la dispersion secondaire a sensiblement le même effet qu'une augmentation des ampères-tours de l'induit, c'est-à-dire une réaction d'induit plus forte. La caractéristique en court-circuit, courbe très importante pour l'examen d'un alternateur, m esure directement l'effet des ampères-tours et de la dispersion secondaire, prises ensemble [2].

Dans les alternateurs modernes la dispersion d'induit n'est pas importante et il suffit généralement d'en tenir compte par une légère augmentation des ampères-tours d'induit. Par contre dans les anciens alternateurs américains à grande fréquence la dispersion jouait un rôle prépondérant. Son influence diminue en général avec la fréquence. La forme des encoches y intervient pour beaucoup. Ainsi la dispersion est plus faible lorsqu'elles sont peu profondes, larges relativement au pas, et autant que possible ouvertes. Une augmentation de l'entrefer et une diminution de l'angle d'embrassement du pôle influent un peu dans un sens favorable.

Mais, contrairement à ce qu'on prétend souvent, le nombre d'encoches par pôle n'a presque aucune influence, pourvu seulement que la relation de la largeur d'encoche aux pas des encoches et leur profondeur restent les mêmes. A autres conditions, comme forme des encoches, etc., égales, le flux dérivé sera proportionnel à la largeur de l'induit et aux ampères-tours de l'induit. Il sera inversement proportionnel à la distance entre deux pôles, ou pour une fréquence donnée au diamètre de l'induit. En introduisant au lieu du flux dérivé le rapport $\frac{\text{flux dérivé}}{\text{flux utile}}$ représentant ce que nous avons nommé *la dispersion* nous aurons pour un induit triphasé une constante

$$S = \frac{1{,}5.\sqrt{2}.\,(\text{Courant}).\,(\text{Fils par phase}).\,(\text{Largeur induit}).}{(\text{Flux utile}).\,(\text{Diamètre induit}).}$$

cette constante S [3] étant proportionnelle à la dispersion [4].

La constante S varie relativement peu pour les machines du tableau, moins qu'on aurait pu supposer. Exception faite de trois machines, elle varie entre $1{,}76.10^{-3}$ et $4{,}55.10^{-3}$ seulement.

---

(1) Voir sur le même sujet les travaux de l'auteur : *Elektrotechnische Zeitschrift*, 1895 et 1899.

(2) Voir l'article de l'auteur : *Elektrotechnische Zeitschrift.*

(3) Voir l'article de l'auteur : *Elektrotechnische Zeitschrift*, 1898.

(4) Nous avons dans cette formule substitué aux ampères-tours les ampères-conducteurs d'un induit triphasé, ayant la valeur $1{,}5\sqrt{2} = 2{,}12$ fois les ampères-conducteurs d'une phase. Anciennement on se servait souvent d'une constante pareille, trouvée par Kolben, d'après laquelle les ampères-conducteurs par cm de pourtour de l'induit ne devaient pas dépasser une certaine valeur (100 à 150). On voit facilement que la constante de Kolben est implicitement contenue dans la mienne et qu'elle n'est juste que pour une largeur d'induit et un flux utile donnés.

Les trois autres machines ont une constante S de $0{,}6.10^{-3}$ (n° 21 avec 25 périodes seulement) $5{,}75.10^{-3}$ et 6.10^{-3} (pour les n°s 17 et 13, machines établies par l'auteur). Ce dernier chiffre est élevé, mais comme l'expérience l'a prouvé, absolument admissible. En général cette constante de dispersion peut être plus élevée pour les machines à encoches ouvertes et doit être inférieure pour celles à encoches fermées. Pour les génératrices de faible fréquence elle sera favorablement plus petite pour ne pas arriver à un flux trop faible. On peut dire qu'un alternateur marchant à 50 périodes (100 alternances) ayant une constante S trop faible sera peu utilisé, ses dimensions seront trop grandes et sa construction peu économique.

Ampères-tours de l'induit. — Dans le tableau les ampères-tours secondaires sont calculés selon la formule

$$AT_2 = 1{,}5\sqrt{2}. \text{(Courant par phase)}. \text{(Spires par phase)}.$$

Dans le cas d'une génératrice monophasée le facteur $1{,}5.\sqrt{2}$ est remplacé par $0{,}9 = \frac{\sqrt{2}}{\pi/2}$.

Les ampères-tours de l'induit ne nous intéressent pas directement et c'est surtout leur relation aux ampères-tours de l'excitation qui est importante, soit le quotient $AT_2 : AT_1$ qu'on peut appeler *constante de réaction*. En effet la réaction d'induit dépend directement de cette relation. Dans le tableau se trouve la valeur de cette constante. Comme ampères-tours primaires sont introduits les ampères-tours sans réaction, c'est-à-dire les ampères-tours nécessaires d'après le calcul pour l'excitation sans charge, mais avec le flux, les dispersions et la force électromotrice qui correspondent à la marche sous pleine charge avec voltage normal aux bornes. Les ampères-tours sans réaction, constituent une valeur théorique qu'on ne peut pas mesurer directement, ni emprunter à la caractéristique à vide à moins que la machine ne soit très peu saturée. Dans le cas d'une machine fortement saturée, la différence entre ampères-tours à vide et ampères-tours sans réaction peut atteindre 10 à 15 p. 100.

La constante de réaction est une des plus importantes pour le fonctionnement d'un alternateur. Dans une génératrice peu saturée tout en dépend. Aussi, il y a quelques années, on tâchait de réduire la chute de voltage par une réduction de ce coefficient. Les ampères-tours de l'induit ne devaient dépasser un quart ou un cinquième des ampères-tours à vide pour avoir une faible réaction. C'est à cause d'une réaction trop forte que les premières génératrices triphasées donnaient des résultats si insuffisants pour l'alimentation de moteurs asynchrones. Dans le tableau la constante de réaction varie entre 0, 15 et 0,47. Dans 7 cas elle est de 0,2 ou en dessous, la valeur 0,3 étant dépassée seulement 5 fois. On voit donc que les constructeurs sont encore très prudents sous ce rapport.

On peut bien, cependant, avec une machine fortement saturée atteindre 0,4 sans aucun inconvénient pour la marche sur moteurs.

Caractéristique en court-circuit. — Le courant produit par une génératrice en court-circuit est proportionnel à l'excitation. La caractéristique passe par le point d'origine, tant qu'il n'y a pas de magnétisme rémanent et elle reste droite à moins que les conditions de saturation et de dispersion d'induit ne soient absolument anormales.

En court-circuit les ampères-tours primaires se tiennent en équilibre avec les ampères-tours secondaires plus l'équivalent de la dispersion d'induit exprimé en ampères-tours [1].

La dispersion d'induit étant différente pour différentes machines et le facteur théorique $1{,}5\sqrt{2}$ qui figure dans la formule des ampères-tours d'induit, variant en réalité selon le nombre d'encoches et avec les déflexions de la sinusoïde, la proportion entre ampères-tours d'induit et ampères-tours en court-circuit n'est pas constante. Elle varie d'après l'expérience de l'auteur entre 0,65 et 1,0. Le chiffre trouvé dans la grande majorité des cas, et pour des génératrices hétéropolaires de construction moderne est d'environ 0,75, c'est pourquoi l'auteur l'emploie pour le calcul des

[1] Voir l'article de l'auteur : *Elektrotechnische Zeitschrift 1899*, et *l'Éclairage Électrique*, t. XXII, p. 296, 24 février 1900, où la caractéristique en court-circuit est traitée à fond.

ampères-tours en court-circuit. Toutefois nous trouvons dans le tableau des chiffres comme 0,55 même, et d'autre part il y en a qui dépassent l'unité.

Je ne sais pas au juste comment expliquer de telles différences et je ne crois pas impossible qu'elles soient basées sur des erreurs de mesure ou d'impression.

Une partie de la différence pourrait s'expliquer si la caractéristique en court-circuit ne passait pas par le point d'origine des axes. Dans ce cas, il faut tracer la caractéristique corrigée, parallèlement à l'autre, mais partant du point d'origine. La nouvelle courbe sera indépendante du magnétisme rémanent.

Perte d'énergie dans le cuivre induit. — Cette perte, exprimée en pour cent de la puissance apparente, varie beaucoup selon la construction de l'alternateur. Les chiffres extrêmes sont 0,7 p. 100 et 2,5 p. 100. A elle seule, la perte dans le cuivre induit n'a pas d'importance, sa valeur ne décide encore rien sur le rendement. Plus intéressante est sa relation aux pertes dans le fer de l'induit. On peut changer cette relation en faveur de l'une ou des autres, pourvu que la somme totale et le rendement restent les mêmes. Lorsque la perte dans le cuivre prédomine, on aura un meilleur rendement à faible charge. Pour une machine qui doit supporter temporairement des surcharges très fortes (par exemple 50 p. 100 ou davantage), il est préférable que les pertes dans le fer dominent. Mais, en général, cette question est peu importante, car le rendement des génératrices de grande puissance est si élevé qu'il varie peu avec la charge; le constructeur pourra donc proportionner les pertes selon son goût. Au point de vue d'une construction économique, les génératrices à pertes dans le fer réduites, et par conséquent à faible flux, sont les plus avantageuses parce que, à poids de cuivre à peu près égal, celui du fer est notablement inférieur.

Pertes dans le fer de l'induit. — Les pertes par hystérésis et courants de Foucault constituent un élément souvent variable et incertain. Elles dépendent en effet des qualités des tôles, de la façon de les monter et de les travailler, et enfin de leur préparation spéciale, s'il y a lieu. En Europe, les tôles ne sont généralement pas recuites après le poinçonnage, pratique beaucoup employée en Amérique et réclamée comme préparation spéciale et secrète. Il est certain que cette pratique réduit les pertes dans le fer. Quant aux qualités du fer, il faut essayer chaque envoi de tôles avant de les employer, quoique à présent les qualités du fer varient déjà moins, leur fabrication garantissant un produit plus égal.

En tous cas, les pertes sont toujours plus grandes que celles calculées d'après la méthode de Steinmetz et souvent même quatre ou cinq fois plus grandes, lorsque la construction ou le travail ne sont pas rationnels. Les chiffres calculés par l'auteur et indiqués dans le tableau peuvent différer notablement de ceux donnés par les constructeurs ou des résultats d'essais, mais, en général, la différence avec ces derniers ne sera pas grande [1].

La valeur des pertes dans le fer, calculées par l'auteur, varie entre 2,25 p. 100 et 5,5 p. 100 du débit. (Pour le n° 3, l'auteur a trouvé plus de 8 p. 100, mais il est possible qu'il y ait erreur dans les dimensions).

La grande majorité des machines du tableau a des pertes dans le fer dépassant 3,5 et 4 p. 100. En comparant ces chiffres avec ceux obtenus pour la perte Joule dans le cuivre induit, on verra que généralement cette dernière est de beaucoup inférieure. Une seule génératrice (le n° 13), a la perte Joule plus grande que les pertes dans le fer; pour quelques autres machines ces deux

(1) Dans le chapitre traitant de l'induction dans le noyau et les dents, nous avons déjà constaté qu'il n'y a pas intérêt à trop réduire l'induction dans le noyau, et qu'au contraire il y a tout intérêt à saturer les dents, bien entendu, en diminuant la profondeur d'encoche. C'est ainsi qu'on obtient le minimum de pertes dans les dents.

Quelques constructeurs emploient pour une fréquence de 50 périodes par seconde, une épaisseur de tôle de 0,3 à 0,4 mm, au lieu de la tôle ordinaire de 0,5 mm. Ce procédé, qui augmente un peu le prix de la machine, n'est pratique que lorsqu'on met beaucoup de soin au travail pour éviter que, malgré une tôle plus fine, les pertes ne soient plus grandes. Le découpage des tôles doit être très exact et il faut absolument éviter tout limage et toute bavure.

chiffres se rapprochent encore, mais pour le gros les pertes dans le fer montent au triple et même jusqu'au quadruple de celles dans le cuivre.

Perte pour l'excitation. — Les électriciens ne sont pas toujours d'accord sur ce qu'il faut considérer comme perte dans l'excitation des alternateurs. Pour éviter tout malentendu, je compterai seulement le courant nécessaire pour l'excitation en charge non-inductive; le carré de ce courant multiplié par la résistance à chaud des électros donne la perte en question, la même qui intervient dans le calcul du rendement. Elle varie entre 0,36 p. 100 et 2,6 p. 100.

En charge inductive, cette perte augmente beaucoup, car elle croît avec le carré du courant d'excitation. Malheureusement, ces chiffres ne se laissent pas bien comparer, car le décalage de phase est variable et on aurait des résultats trop différents.

Dimensions de l'induit. — Pour déterminer les dimensions de l'induit des dynamos, il y a une ancienne formule de Esson et Fischer-Hinnen que j'ai transformée et qui m'a rendu de bons services. J'ai obtenu par ladite transformation une constante, que je désigne par la lettre K et qu'on peut nommer constante de grandeur de l'induit,

$$K = \frac{\text{(Largeur de l'induit) (Vitesse angulaire) (Diamètre)}^2}{\text{Puissance}}.$$

Il faut exprimer la largeur de fer de l'induit et le diamètre en centimètres, la vitesse angulaire en tours par minute, et la puissance en watts. Cette constante K décroît un peu avec la puissance des machines. Elle est plus grande pour les petites machines. Cela s'explique facilement, car chaque constructeur sait qu'une petite dynamo se construit moins économiquement en comparaison avec une grande. On peut bien discuter la valeur de cette constante, la puissance d'une dynamo n'étant pas directement proportionnelle aux éléments de la constante K, mais il est incontestable qu'elle donne tout de même une certaine mesure des dimensions d'une machine. Nous l'emploierons donc pour comparer la grandeur de l'induit. Un coup d'œil sur la colonne correspondante du tableau montre la grande variabilité de la constante K.

Son maximum est en effet de 1 360, tandis que le minimum est de 343. Comme les puissances et vitesses des deux machines (n°s 6 et 13) sont du même ordre, on voit qu'un induit est quatre fois plus grand que l'autre! En vue des chiffres obtenus pour la constante K, on peut dire que la plupart des constructeurs emploient des dimensions plutôt grandes, qui ne sont point économiques, car il est évident que les frais de fabrication, de transport, le poids, etc., augmentent avec les dimensions. Cinq alternateurs seulement ont la constante K inférieure ou égale à 500 environ, tandis que pour dix machines elle atteint ou dépasse 900. La tendance générale pendant ces dernières années est, dans la construction des dynamos, de réduire les dimensions, aussi voit-on qu'il reste encore beaucoup à faire et qu'en attendant les alternateurs se construisent, en général, trop grands.

Poids des pôles. — Le tableau indique le poids des pôles des alternateurs, sans compter la partie encastrée dans le volant, mais y compris les pièces polaires. Ces poids sont approximatifs. On voit que pour des machines de puissance égale ou à peu près, le poids des pôles varie énormément.

Ainsi la machine n° 6 a 8 100 kg, tandis que le n° 13, de puissance plus grande, n'a que 1 600 kg. Ces différences s'expliquent surtout par un flux plus ou moins fort, mais aussi par la longueur, l'induction, etc. des pôles.

Poids des tôles. — Ce poids, comme il est indiqué dans le tableau, contient celui du noyau de l'induit, plus la partie des tôles réservée pour les dents, mais les encoches étant supposées pleines.

Puissance et vitesse. — Pour pouvoir comparer l'économie relative des alternateurs, il faut se mettre d'accord sur la base de cette comparaison. Il n'existe malheureusement pas de base exacte, mais bien plusieurs bases approximatives. Employer comme base simplement la puissance

serait trop simplifier la chose, la vitesse n'étant pas ainsi considérée. Il est donc préférable d'employer le quotient $\frac{\text{kilovolts-ampères}}{\text{tours par minutes}}$ comme base de la comparaison. Dans une série complète de machines, construites sur les mêmes principes, les poids du cuivre, du fer, etc. sont proportionnels à peu près à la racine 1,5 de ce quotient.

Pour ne pas trop compliquer, gardons cependant comme base le quotient simplement.

Poids du fer par $\frac{\text{kilovolts-ampères}}{\text{tours}}$. — Dans le tableau nous voyons que le poids du fer varie considérablement, le minimum étant de 393 kg, contre un maximum de 3 090 kg par kilovolts-ampères : tours. Cela veut dire qu'une machine contient presque huit fois autant de fer (tôles et acier nécessaires pour le circuit magnétique) qu'une autre !

Pour la plupart des machines, le chiffre correspondant se trouve compris entre 800 et 2 000, le minimum de 393 étant encore approché par deux machines avec les chiffres 442 et 534 kg.

Il faut remarquer que dans ces poids n'entre pas celui du volant qui pourrait être choisi plus lourd pour des raisons à part, ni le poids de fonte, acier, etc., de la construction mécanique.

Poids du cuivre par $\frac{\text{kilovolts-ampères}}{\text{tours}}$. — Le poids du cuivre varie également dans des limites très grandes. Pour la machine ayant le minimum de cuivre, ce chiffre est de 117 kg. Il y a encore 6 autres machines avec moins de 200 kg, tandis que 5 génératrices ont plus de 400 kg, dont une atteint même 830, chiffre très élevé. Le rapport du maximum au minimum est ici encore de huit, à peu près.

Prix de la matière électromagnétique. — J'ai tâché de trouver une base pour la comparaison du prix de revient de la matière électromagnétique des génératrices du tableau. Il est impossible d'avoir une comparaison exacte et également impossible d'introduire le prix en francs et centimes, car les machines proviennent de différents pays et les prix sont variables avec le temps. Aussi, pour avoir quelque chose de plus stable, j'ai supposé que le cuivre coûte 5 fois le prix du fer (acier ou tôle) en moyenne. Ainsi nous n'avons qu'à comparer les poids, en ajoutant au poids du fer celui du cuivre multiplié par 5. Le tableau contient en conséquence le poids du (fer + 5 cuivre) par $\frac{\text{kilovolts-ampères}}{\text{tours}}$.

Ce poids varie entre 1 027 comme minimum (n° 14) et 5 560 comme maximum (n° 18). Une machine contient donc cinq fois autant de matière active qu'une autre, ce qu'il faut considérer comme une différence très grande malgré que l'une de ces machines soit beaucoup plus puissante que l'autre, soit 1 400 kilovolts-ampères dans le cas du n° 14 contre 220 seulement pour l'autre. La puissance par pôle, qui, en dernier lieu, détermine les proportions d'un alternateur est dans les deux cas de 16,6 et de 4,4 kilovolts-ampères respectivement. L'élément de la construction électromagnétique est donc presque quatre fois plus grand dans le n° 14. La colonne contenant le poids du fer, plus cinq fois celui du cuivre sera la plus intéressante du tableau, car elle nous montre l'économie relative des différentes génératrices. Elle prouve en même temps que la plupart des alternateurs sont encore loin d'être économiques (1).

Calcul de l'excitation. — Nous avons vu plus haut que la caractéristique en court-circuit nous fournit un excellent moyen de mesurer les principaux éléments qui déterminent l'excitation en charge d'une génératrice dont l'excitation à vide est connue.

La caractéristique en court-circuit nous donne les ampères-tours de l'induit avec la dispersion d'induit réduite à l'échelle des ampères-tours.

(1) Il est facile de comprendre, toutefois, que le prix de la matière active n'est pas la seule chose dont dépend le prix de revient d'un alternateur. Pour arriver à celui-ci il faut encore savoir le poids de la matière inactive au point de vue électrique, nécessaire seulement pour la construction mécanique, et alors même il faudra encore ajouter la main d'œuvre qui dépend du diamètre et de la construction générale plus ou moins pratique. Comme règle générale, on peut dire que de deux alternateurs à prix de la matière active égale, celui dont le diamètre est plus petit aura un prix de revient inférieur.

En composant maintenant l'excitation à vide pour une force électromotrice voulue avec l'excitation en court-circuit pour la charge donnée, nous obtenons l'excitation en charge. Les deux excitations composantes doivent enfermer l'angle de décalage de phase plus 90°.

Ainsi, en cas d'une charge non inductive on compose les deux excitations à angle droit. L'excitation en charge sera alors représentée par la résultante.

L'excitation à vide qu'il faut introduire ici doit être corrigée lorsque l'alternateur est fortement saturé. Dans ce cas, il faut compter avec une excitation imaginaire que j'ai appelée : *excitation sans réaction* correspondant aux ampères-tours *sans réaction*. La différence entre ces ampères-tours et ceux à vide pour une force électromotrice donnée est due à la dispersion des électros qui en charge est plus grande qu'à vide.

Les électros sont ainsi plus saturés en charge qu'à vide et la correction mentionnée doit tenir compte de cette différence de saturation.

Le calcul de l'excitation en charge s'opère donc pour un facteur de puissance ($\cos \varphi$) donné de la façon suivante. On ajoute au voltage aux bornes la perte en volts dans la résistance de l'enroulement induit. Approximativement la perte en volts est égale au produit : courant $\times$ résistance $\times$ $\cos \varphi$.

La somme nous donne la force électromotrice d'après laquelle on calcule le flux, les inductions, les ampères-tours pour les différentes parties du circuit magnétique. Le total des ampères-tours est alors ce que je viens d'appeler ampères-tours sans réaction.

Maintenant on n'a plus qu'à ajouter, graphiquement, sous l'angle ($\varphi + 90°$) les ampères-tours de la caractéristique en court-circuit pour la charge en question et l'on obtient les ampères-tours correspondant à cette dernière. C'est ainsi que sont calculées les excitations en pleine charge contenues dans le tableau.

On trouve, en comparant les résultats de mon calcul avec les excitations indiquées par les constructeurs, que les deux chiffres seront souvent en désaccord. Cela peut s'expliquer, certes, en partie au moins, par l'inexactitude de la méthode du calcul, mais je suppose d'autre part que dans beaucoup de cas les résultats d'essais n'ont pas été faits avec la précision voulue, et que quelques-uns des chiffres indiqués seront peut-être trouvés par un calcul plus ou moins approximatif.

Pour un très grand nombre de génératrices poly et monophasées, j'ai trouvé dans ma pratique des six dernières années que la méthode employée plus haut donne des résultats absolument satisfaisants.

(*A Suivre.*) Alexandre Rothert.

SUR LES PROPRIÉTÉS DES ANNEAUX A COLLECTEUR

J'ai lu avec beaucoup d'intérêt la note de M. Leblanc, publiée sous ce titre le 26 octobre, se rapportant à un moteur asynchrone auto-excitateur du genre que j'ai indiqué il y a quelque temps ([1]) et dont, par hasard, une description se trouve également dans le même numéro de ce journal. L'examen de M. Leblanc s'étend, je ne sais pour quelle raison, sur un moteur avec collecteur normal, et j'approuve complètement les conclusions de M. Leblanc, qu'un tel moteur ne saurait vraisemblablement marcher.

Sans doute, dans ma description, il lui est échappé qu'une des parties brevetées les plus caractéristiques de mon moteur est l'emploi d'un anneau fermé au lieu d'un simple commutateur. Il faudrait donc ajouter, dans la figure 1, des conducteurs *ccc*... de résistance appréciable (fig. 1).

([1]) *Elektrotechnische Zeitschrift*, 8 août, p. 633 ; *London « Electrician »*, 16 août, p. 623 ; *L'Industrie Electrique*, 10 septembre, p. 589 ; *L'Eclairage Electrique*, 26 octobre, p. 117.

ci-jointe) et sans inductance, qui réunissent les lames du collecteur entre elles. Mais cette altération changerait aussi, au fond, toutes les conclusions [1].

Supposons que la résistance ohmique de ces conducteurs soit la même que celle du bobinage. Supposons d'abord que les connexions entre bobinage et collecteur soient coupées. Tout le courant des balais passerait donc par les conducteurs sans inductance. Ce courant, malgré la commutation ne serait pas, il est vrai, un courant continu exact, mais bien un courant oscillant qui naturellement passerait facilement par les conducteurs sans inductance *ccc*... En conséquence le potentiel de quelqu'une des lames du collecteur ne serait pas constant, mais il oscillerait également entre un maximum et un minimum. Supposons que ces oscillations soient représentées, en plus grand, par une courbe I (figure 2) et varient entre + et zéro.

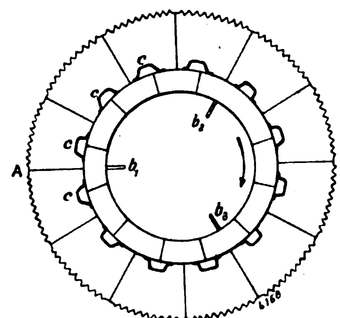


Fig. 1.

Si nous relions maintenant le bobinage au collecteur, le courant se diviserait en deux parties (fig. 3). Une partie II, un courant continu, défini par la tension moyenne, entrerait dans le bobinage, et le reste III, un courant plus ou moins alternatif, trouverait sa route dans les conducteurs sans inductance *ccc*... Il faut ajouter en réalité que les oscillations sont naturellement beaucoup moins fortes que celles présentées par ces figures, choisies seulement pour expliquer les procédés.

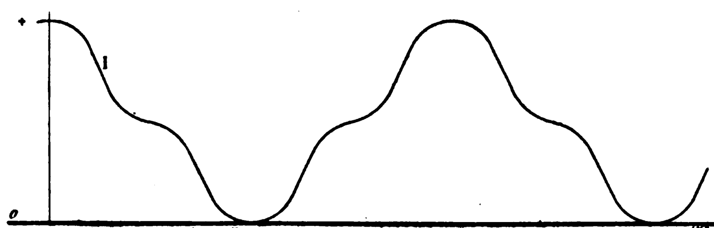


Fig. 2.

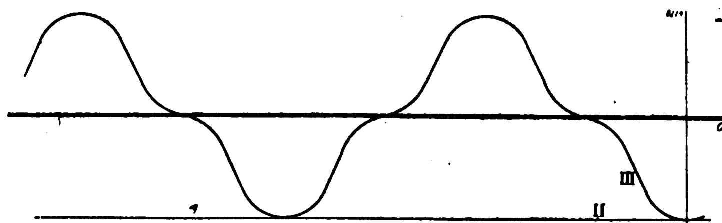


Fig. 3.

Je ne peux encore communiquer ici des résultats obtenus, mais j'ajoute que des essais sont commencés dans différentes maisons, et j'espère être bientôt en état d'en publier des données [2].

Alexandre HEYLAND.

---

[1] Au sujet de cette affirmation, nous renvoyons le lecteur à l'article de M. Marius Latour, publié dans le précédent numéro. N. d. l. R.

[2] Au moment de mettre sous presse nous recevons de M. Heyland la lettre suivante :

« J'ai le plaisir d'ajouter à la note que je vous ai expédiée que les premiers essais ont bien confirmé la théorie dont il était question. Je viens de voir marcher le 18 novembre, dans les ateliers de la « Vereinigte Elektricitäts-Actiengesellschaft, Wien », un moteur asynchrone de 12 chevaux qui était changé d'après les indications de mon article du 8 août publié dans l'*Elektrotechnische Zeitschrift*.

» Le déphasage entre le courant et la tension était complètement annulé et le courant à vide était réduit de 15 à 3 ampères. Coupé du réseau électrique et accouplé à la transmission, le moteur marchait comme génératrice. Il s'excitait lui-même, exactement comme une dynamo shunt à courant continu et était capable d'alimenter un certain nombre de lampes à incandescence. Les résultats en seront publiés prochainement. »

MÉTHODE

DE DÉTERMINATION DE LA RÉSISTANCE A LA TRACTION [1]

La détermination de la résistance de traction des véhicules en mouvement a toujours présenté un très grand intérêt pratique. Bien avant la création des chemins de fer, elle a été l'objet, sinon de mesures fréquentes, du moins de nombreuses spéculations théoriques.

Des divers procédés employés aujourd'hui pour effectuer cette détermination, le plus ancien est celui consistant dans l'emploi d'un dynamomètre. Malheureusement il ne donne pas toujours des résultats très exacts et s'il a pu être appliqué avec succès dans le cas de trains mis en mouvement par des locomotives en donnant au dynamomètre un amortissement suffisamment grand, il est presque inapplicable au cas de véhicules traînés par des chevaux.

D'autres procédés ont été imaginés et appliqués à mesure que la traction mécanique prenait plus de développement. Par exemple la résistance à la traction des trains a été déterminée en laissant un train descendre sous l'action de la pesanteur sur une pente régulière d'inclinaison connue. Comme la force due à la gravité sur le train demeure constante tandis que la résistance à la traction croît en même temps que la vitesse, il arrive nécessairement un moment où ces deux forces se contrebalancent, et où, par suite, l'accélération devenant nulle, la vitesse demeure constante; la force due à la gravité pouvant être facilement évaluée, la résistance au mouvement se trouve ainsi déterminée pour la vitesse constante que prend le train. Mais ce procédé suppose que la résistance ainsi déterminée est la même que celle qui s'exerce quand le ou les véhicules considérés se meuvent par eux-mêmes, hypothèse exacte dans certains cas mais non dans d'autres.

La résistance de frottement des volants et autres pièces tournantes est parfois évaluée en mesurant le temps que mettent ces organes à s'arrêter après avoir été lancés à une certaine vitesse. Si cette résistance est indépendante de la vitesse, la quantité d'énergie que possède primitivement l'organe en mouvement, divisée par le nombre de tours (ou mieux radians) exécutés jusqu'à l'arrêt donne le couple résistant. Il est très facile d'appliquer ce procédé aux locomotives, automobiles, bicycles, etc., mais on ne peut alors lui reprocher de n'être que très approximatif, car la résistance à la traction de ces véhicules, loin d'être constante, augmente considérablement avec la vitesse.

Je suis cependant parvenu à en faire usage en tenant compte de l'accroissement de la résistance avec la vitesse, j'en ai développé mathématiquement l'application à toute espèce de véhicule automoteur et je l'ai utilisé pratiquement au cas d'un bicycle; un rapport préliminaire sur ces essais a été publié dans le *Mechanical Engineer* du 11 novembre 1899 et une étude plus détaillée a été le sujet d'une communication faite à l'Institution of Civil Engineers, de Londres, le 8 février dernier.

De ces trois procédés (du dynamomètre, de la vitesse constante en pente et de l'amortissement du mouvement), le plus pratique est évidemment celui qui demande le moins de personnes et le moins d'expériences pour donner un résultat exact. Peu importe en effet la

---

[1] Rappelons à nos lecteurs que cette question a déjà été l'objet de plusieurs articles et revues publiés dans *L'Éclairage Électrique*; parmi les plus récents, mentionnons : l'article de M. Barbillion sur la Résistance des trains à la traction (t. XXIV, p. 97 et 361, 21 juillet et 8 septembre 1900); une note de M. Montel sur la Détermination de la puissance motrice exigée par une automobile (t. XXIV, p. 393, 8 septembre 1900); enfin deux notes de M. Ern. Gérard et M. Renard sur la Résistance des voitures automotrices (t. XXIV, p. 383 et 384, 8 septembre 1900).

longueur et la difficulté des calculs nécessaires pour tirer, des nombres relevés pendant les essais, le résultat que l'on a en vue, car tandis que les essais exigent pour être concluants un temps favorable, les calculs peuvent être faits dans un bureau, à l'abri des intempéries; une grande facilité d'*exécution* est donc la première condition à rechercher.

A ce point de vue le procédé d'amortissement du mouvement me paraît être le meilleur dans le cas des automobiles. Que demande-t-il en effet? Qu'après avoir lancé l'automobile à une vitesse connue sur une route en palier, l'expérimentateur supprime brusquement la force motrice et compte le nombre de secondes que met le véhicule à s'arrêter, puis qu'il

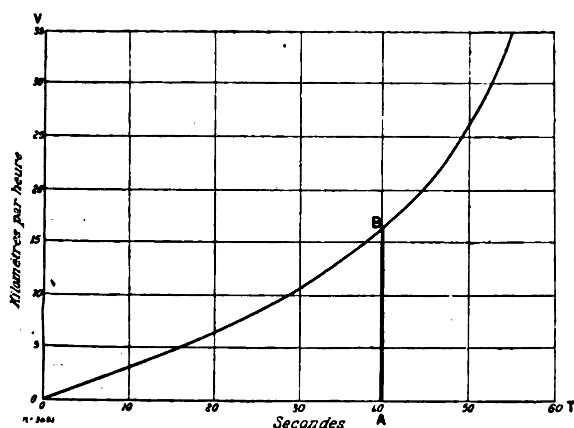


Fig. 1.

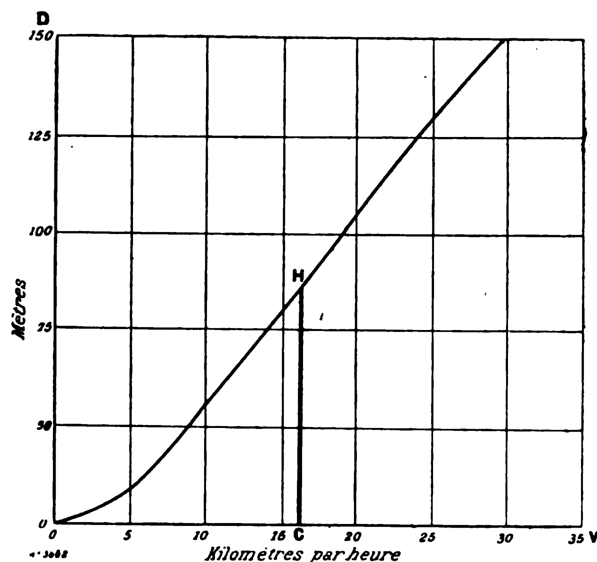


Fig. 2.

répète cette même mesure pour diverses valeurs de la vitesse initiale. Encore pourra-t-il se dispenser de cette répétition des mesures s'il peut mesurer le temps employé pour passer d'une vitesse connue à une autre moindre et également connue, par exemple pour passer de la vitesse 40 km : heure à la vitesse de 35 km : heure, de celle-ci à 30 km : heure, et ainsi de suite. A la vérité il sera bon de refaire les mesures en parcourant la même portion de route en sens inverse et de prendre la moyenne des résultats obtenus pour éliminer l'influence d'une légère inclinaison de la route.

Ces mesures, toujours peu nombreuses étant faites, voyons comment on en déduira la résistance à la traction.

Sur un papier quadrillé portons en ordonnées les vitesses et en abscisses les temps nécessaires pour passer d'une vitesse donnée au repos, nous aurons une courbe analogue à celle représentée en figure 1 [1].

Remarquons que l'aire OAB, égale à l'intégrale de vdt, représente la distance D que parcourt le véhicule avant son arrêt à partir du moment où la puissance motrice a été supprimée. Traçons une nouvelle courbe en portant cette distance en ordonnée et la vitesse à laquelle elle correspond en abscisses; nous avons la figure 2 [2].

[1] Au moment des essais il est très facile de noter la distance D en même temps que le temps t. On pourra tracer directement d'après les mesures faites, la courbe de la figure 2 et l'on vérifiera si cette courbe coïncide avec celle déduite de la figure 1 comme il vient d'être dit. On aura de la sorte un contrôle de l'exactitude des essais.

[2] Pour avoir la distance D on évaluera le nombre des tours d'une des roues ou l'on se servira d'un cyclomètre.

Revenons à la première courbe et par son moyen déterminons les valeurs de T correspondant à deux valeurs de V assez rapprochées, par exemple 19 km : heure et 21 km : heure. Si nous appelons M la masse du véhicule et des voyageurs, la force retardatrice *moyenne* pour une vitesse comprise entre ces valeurs sera

$$F = M_x \frac{\text{variation de vitesse}}{\text{temps correspondant}},$$

et nous pourrons ainsi avoir une série de valeurs *très approchées* de F et de V se correspondant. Nous en déduisons une nouvelle courbe (fig. 3) en portant les vitesses en abscisses et les résistances à la traction en ordonnées.

Le tracé de cette dernière courbe résout le problème posé, puisqu'elle nous donne la résistance à la traction en fonction de la vitesse. Mais elle ne nous la donne qu'approximativement. Pour l'avoir plus exactement un calcul est nécessaire.

Le principe de la méthode de calcul est le suivant : Au moyen de la courbe (3), déterminons la fonction algébrique liant F et V; puis par le calcul déduisons de cette fonction les relations qui existent, d'une part entre T et V, d'autre part en V et D, et enfin construisons graphiquement ces relations. Si la fonction entre T et V est exacte, nous devons retrouver exactement les courbes (1) et (2); dans le cas contraire, nous aurons des courbes qui en différeront plus ou moins. La comparaison entre les courbes expérimentales et les courbes théoriques nous fera connaître quelle modification nous devons faire subir aux coefficients numériques de la fonction liant F et V pour nous rapprocher de la vérité. Nous ferons cette modification et nous répéterons les mêmes opérations de contrôle, ce qui pourra nous conduire à une nouvelle modification des coefficients de la fonction entre F et V, et ainsi de suite. En un mot nous appliquerons la méthode des approximations successives.

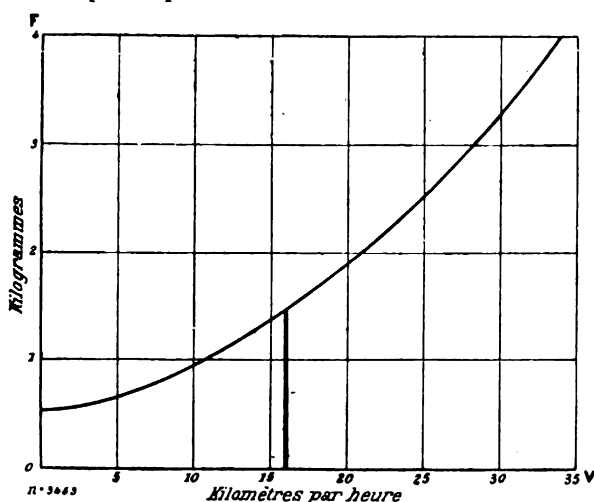


Fig. 3.

Pour trouver au moyen de la courbe (3) la relation algébrique entre T et V il convient tout d'abord d'en déterminer théoriquement la forme. Nous savons que la résistance d'un véhicule à la traction doit contenir trois termes : l'un est dû à une force retardatrice constante provenant du frottement des essieux sur les coussinets et du frottement de roulement des bandages ([1]); le second terme, qui est proportionnel à la vitesse, est dû aux aspérités de la route; le troisième dépend uniquement de la résistance de l'air. Les deux premiers de ces termes sont proportionnels au poids du véhicule, mais le dernier dépend plutôt de la surface de sa projection verticale que de sa masse. Néanmoins nous écrirons comme on

---

Pour avoir la vitesse, on prendra un tachymètre dont un modèle très pratique employé par l'auteur est décrit, avec diagrammes et courbes de calibrage, dans l'*Automotor Journal* d'août 1899.

([1]) Le professeur Ewing a montré que la résistance due au roulement des bandages est indépendante de la vitesse et dépend seulement de la pression et de la nature des bandages et de la route.

le fait généralement.

$$F = P(a + bV + cV^2)$$

où P désigne le poids total du véhicule et a, b, c des constantes.

L'équation du mouvement peut dès lors s'écrire, en appelant M la masse du véhicule et g l'accélération due à la pesanteur

$$M \frac{d^2x}{dt^2} + Mg(a + bv + cv^2) = 0,$$

ou

$$\frac{1}{g}\frac{d^2x}{dt^2} + a + b\frac{dx}{dt} + c\left(\frac{dx}{dt}\right)^2 = 0.$$

Résolvant par rapport à t et remarquant que pour $t = 0$, on a $v = V$ c'est-à-dire la vitesse initiale, on obtient

$$t = \frac{2}{fg} \text{ arc tang } \frac{2cf(V - v)}{f^2 + (2cV + b)(2cv + b)},$$

où f^2 désigne $4ac - b^2$.

Si la vitesse finale est nulle, c'est-à-dire si le véhicule s'arrête on a

$$T = \frac{2}{fg} \text{ arc tang } \frac{fV}{bV + 2a}; \qquad (1)$$

c'est la relation cherchée entre T et V,

Pour trouver la relation entre D et V, nous déduisons de la précédente

$$\frac{bV + 2a}{fV} = \cot \frac{Tfg}{2}$$

ou

$$\frac{b}{f} + \frac{2a}{fV} = \cot \frac{Tfg}{2}.$$

Comme d'autre part $V = \frac{dx}{dt}$, nous en tirons, en remarquant que $x = o$ quand $t = o$ et $x = D$ quand $t = T$.

$$D = \frac{1}{2cg} \log_e\left(1 + \frac{b}{a}V + \frac{c}{a}V^2\right) - \frac{bT}{2c}. \qquad (2)$$

Remarquons que la formule (1) se réduit quand V est très petit à $T = \frac{V}{ag}$, ce qui revient à dire qu'aux faibles vitesses la force retardatrice est égale à aP et ce qui est en effet le cas. Quand V est très grand, voire même infini, T reste fini et même petit, sa valeur étant alors $\frac{2}{fg}$ arc tang $\frac{f}{b}$ (dans le cas des bicycles cette valeur limite dépasse rarement deux minutes). Quant à D il augmente indéfiniment avec V.

Ayant ainsi établi ces relations (1) et (2) et ayant calculé les coefficients a, b, c de la relation $F = P(a + bV + cV^2)$ à l'aide de la courbe de la figure 3, il est facile de déterminer la forme de la courbe représentant la relation (1).

Si cette forme diffère de celle de la figure 1 déduite de l'expérience, nous prendrons une nouvelle série de valeurs de a, b, c de manière à obtenir une courbe calculée de même forme que la courbe expérimentale. Ayant alors trouvé les valeurs de a, b, c qui correspondent le mieux aux points de cette dernière, nous porterons ces valeurs dans la formule (2) et nous tracerons la courbe représentant cette formule et nous vérifierons si cette courbe

coïncide avec celle de la figure 2 déduite de la courbe expérimentale 1 connue, nous l'avons dit au début.

Il est bien certain que si l'on compare cette méthode à l'une quelconque des méthodes anciennement suivies, ces dernières l'emportent par la simplicité des calculs. Toutefois en pratique, c'est celle que nous venons d'exposer qui est de beaucoup la plus commode et c'est celle qui fournit les résultats les plus précis si l'on veut bien apporter quelque patience dans la recherche mathématique des valeurs de *a*, *b*, *c*. Dans des essais sur des bicycles faits par l'auteur, on a constaté en effet que la comparaison de la courbe théorique et de la courbe expérimentale constituait un procédé susceptible d'une très grande précision; de plus, il a été reconnu que les courbes résultant des données fournies par des essais sur deux bicycles différents sont parfaitement distinctes, ce qui montre encore la sensibilité du procédé. Ajoutons que les résultats de ces essais ont conduit aux formules

$$F = \frac{P}{132}\left(1 + \frac{V}{20} + \frac{V^2}{84}\right), \qquad F = \frac{P}{132}\left(1 + \frac{V}{32} + \frac{V^2}{218}\right)$$

la première supposant que F et P sont évalués en livres anglaises et V en milles par heure, la seconde que F et P sont exprimés en kilogrammes et V en km : heure. Les courbes des trois figures données ci-dessus sont celles qui ont été déduites de cette formule.

H.-E. Wimperis. B. A.
Caius College (Cambridge).

REVUE INDUSTRIELLE ET SCIENTIFIQUE

TÉLÉGRAPHIE ET TÉLÉPHONIE

Sur les dragages des câbles sous-marins; par **H. Larose**.

A propos de l'article publié sous ce titre dans le n° du 10 août (t. XXVIII, p. 197), l'auteur nous écrit :

A la page 204, ligne 4, lire 0,9 tonne au lieu de 0,9 kg.

A la page 206, les deux lignes du renvoi (2) doivent être placées dans le renvoi (1) à la suite des mots novembre-décembre 1898; le renvoi (2) doit comprendre les 22 lignes mises par erreur dans le renvoi (1) et commençant par les mots : La situation, etc.

Quelques perfectionnements apportés récemment au système téléphonique. « Batterie centrale »; par le Dr **A. Tobler**, professeur à l'École polytechnique de Zurich. *Journal Télégraphique*, de Berne, t. XXV, p. 274, 25 octobre 1901. Reproduction intégrale.

Les grands avantages que présente l'exploitation d'un réseau téléphonique au moyen du système de la « Western Electric Company », connu sous le nom de « Batterie centrale », ont été rendus encore plus appréciables grâce à de récents et importants perfectionnements, dont nous allons entretenir nos lecteurs. A l'Exposition universelle de Paris, en 1900, on a pu voir une section de multiple illustrant le système en question; l'arrangement des circuits était légèrement différent de celui que nous avons décrit dans ce journal le 25 novembre 1899. M. Anizan l'a reproduit dans son intéressant article du 25 septembre 1900.

Un des traits caractéristiques de ce mode d'exploitation est, comme on le sait, l'emploi de signaux lumineux en remplacement des clapets servant d'annonciateurs ou de signaux de fin de conversation. Les résultats obtenus par l'emploi de lampes sont tellement bons qu'il y a même une tendance à les introduire dans les commutateurs multiples des anciens systèmes, tels que le « Western Electric Branching System ». Un exemple de cette application est donné par l'installation de Munich, que nous avons pu visiter récemment. Nous profitons volontiers de l'occa-

sion pour remercier notre aimable guide, M. l'ingénieur Stegmann, chargé de la surveillance technique de cet admirable appareillage construit par la Western Electric C°, que nous classons volontiers parmi une des plus belles installations de l'Europe.

Le montage actuel des postes d'abonnés à batterie centrale ressemble beaucoup à celui décrit dans l'article de M. Anizan, avec la différence, toutefois, qu'il n'y a pas de shunt à travers les bornes du microphone.

En faisant (fig. 1*a* et 1*b*) l'analyse du schéma, on voit qu'à l'état de repos (récepteur accroché) la sonnerie d'appel S et le condensateur C (de 2 microfarads) sont disposés en série, tandis qu'à l'état de travail (fig. 1*b*, récepteur décroché) l'ensemble des divers circuits du poste est tel que les fils de ligne 1 et 2 se trouvent shuntés entre les points *h* et *i* par les circuits suivants : 1° Pour les courants continus fournis par la batterie centrale, il n'y a pratiquement qu'un seul circuit, par l'enroulement I de la bobine d'induction et le microphone M Ce circuit a relativement peu de résistance et surtout

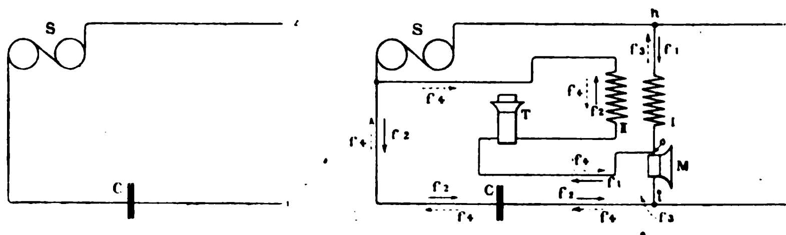


Fig. 1 *a* et 1 *b*.

de self-induction. Sur les bornes de I se trouve un shunt formé par S, l'enroulement II et le récepteur, offrant une self-induction et une résistance élevées. On peut donc admettre que le courant de la batterie centrale passe par le circuit primaire du poste, le récepteur étant décroché. 2° Pour les courants ondulatoires venant du bureau central, le poste offre quatre circuits entre les points *h* et *i*, que nous allons examiner dans l'ordre de leur importance.

Circuit *a*. *h*, I, M, *i*
» *b*. *h*, I, T, II, C, *i*
» *c*. *h*, S, C, *i*
» *d*. *h*, S, II, T, M, *i*

Une onde phonique passant dans le circuit *a* suivant la flèche pleine f_1 provoque par induction une onde suivant la flèche f_2 dans l'enroulement II. La partie de l'onde primaire f_1, se bifurquant en *o* dans le circuit *b* à travers le recepteur T, est de même sens que la flèche f_2; elle s'ajoute donc à f_2 pour agir sur le récepteur. Dans le cas où l'onde primaire est de sens *inverse*, c'est-à-dire partant de *i* vers *h* (flèches pointillées) suivant f_3, l'onde induite dans II sera suivant f_4. La partie de l'onde f_3 dans le circuit *b*, est de même sens que f_4; elle favorise également la réception. La partie du circuit comprise entre S et *h* ne joue aucun rôle, en offrant aux ondes phoniques une « barrière infranchissable ». On voit donc qu'à la réception la bobine d'induction joue le rôle de transformateur; de plus les dérivations des ondes phoniques primaires passent directement à travers le récepteur, renforcent les ondes secondaires, circonstance favorable à la réception. La présence du condensateur C dans le circuit local secondaire est également très utile, les ondes se trouvent retardées de 90° par la transformation dans la bobine, le condensateur fait avancer les phases de 90°. Ces deux effets ont pour résultante le maintien intact de la forme des ondes.

Tant que l'abonné ne parle pas, la résistance du transmetteur M reste constante; mais dès qu'il parle, elle varie dans de grandes limites. L'expérience prouve que la résistance de la ligne peut atteindre 500 ω sans nuire à la puissance de la transmission. Les ondes produites par les variations de M agissent directement sur le translateur du bureau central. En passant dans l'enroulement I du poste d'abonné, elles induisent des courants secondaires dans II et varient le potentiel aux bornes du condensateur C (circuit C II T); ces ondes réagissent par induction sur l'enroulement I et renforcent l'effet des ondes phoniques sur la ligne 1, 2. L'abonné entend donc sa propre transmission par l'induction de I sur II, et ensuite par l'effet direct des

variations de potentiel aux bornes de C. Ces deux effets se contrarient et diminuent donc la réception de sa propre parole, avantage éminent comme le prouve la pratique; en outre, la résistance de T peut être augmentée et ce dernier rendu plus sensible, ce qui aide beaucoup l'exploitation des lignes interurbaines. On a pu étendre à plus de 2 000 km la limite pratique de ces lignes. L'arrangement ingénieux des postes d'abonnés que nous venons de décrire est le résultat de nombreux essais pratiques faits par les ingénieurs de la Western Electric C°.

L'appareillage du *bureau central* a été également modifié; il diffère de celui décrit par nous en 1899 et par M. Anizan en 1900 (fig. 2, 3 et 4*a* et 4*b*).

Outre les relais de la ligne RL (fig. 2) et le relais séparateur RS, nous y trouvons deux relais auxiliaires RA_1 et RA_2, dont les fonctions vont être expliquées en détail.

L'abonné appelant, en décrochant son récepteur, fait descendre la résistance de la ligne 1,

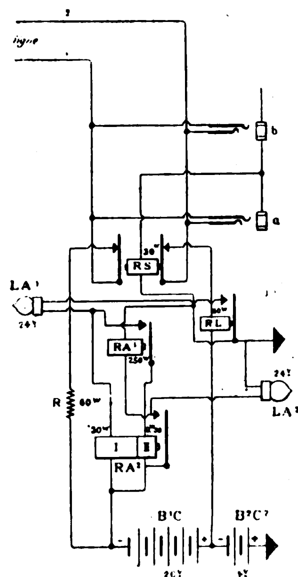


Fig. 2.

2 à une valeur finie, de sorte que le courant de la batterie $B_1 C_1$ peut passer par le circuit suivant : Pôle + $B_1 C_1$, enroulement de 60 ω de RL, contact de repos de droite de RS, fil de ligne 2, poste d'abonné, circuit primaire, fil 1, contact de repos de gauche de RS, résistance R formée par une lampe de 60 ω, pôle — de $B_1 C_1$. RL attire son armature, ce qui provoque l'allumage de la lampe LA_1 et la mise en action du relais auxiliaire RA_2. En effet, l'établissement du contact de travail de RL ferme, pour la batterie centrale, le circuit local suivant : Pôle + de $B_2 C_2$, terre, armature de RL (attirée), lampe d'appel LA_1, enroulement I (30 ω) de RA_2, pôle — de $B_1 C_1$. L'armature de RA_2 ferme et établit donc un courant à travers la lampe auxiliaire LA_2, qui s'allume, et à travers l'électro de RA_1, ayant 250 ω et disposé en shunt sur la lampe LA_2. L'armature de RA_1 se trouve attirée en même temps que LA_2 s'allume. La fermeture du contact de travail de RA_1 a pour effet de placer l'enroulement II (0,38 ω) de RA_2 en shunt sur I (30 ω), ce qui réduit énormément la résistance du circuit local alimentant LA_1. Cette lampe est construite de façon à fournir un excellent éclairage avec un potentiel de 22 à 26 volts. Le signal d'appel est donc bien visible.

Grâce à la résistance minime (0,38) de l'enroulement II de RA_2, il est possible d'obtenir l'allumage simultané d'un grand nombre de lampes LA_1 placées en dérivation sur le circuit d'alimentation de la batterie $B_1 C_1 B_2 C_2$. Ces cas arrivent lorsque plusieurs abonnés appellent simultanément. Il est donc possible de n'employer qu'un seul jeu de relais auxiliaires et une seule lampe LA_2 pour toutes les lampes d'appel et tous les relais d'appel appartenant à un même groupe du commutateur multiple.

Manœuvres de mise en communication. — En répondant à l'appel, la téléphoniste insère la fich F_1 (fig. 3) dans le jack individuel de l'abonné,

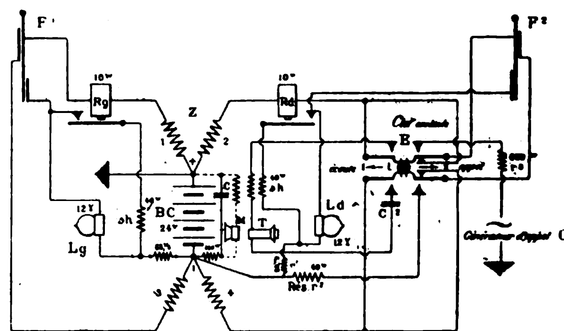


Fig. 3.

ce qui produit l'extinction de la lampe d'appel LA_1, de même de la lampe auxiliaire LA_2 du groupe de la téléphoniste considérée. Le courant de la batterie centrale BC prend le chemin

suivant : Pôle —, lampe de supervision L*g*, corps de F_1, corps *a* du jack, relais séparateur RS, terre, pôle + de BC. RS attirant ses armatures, rompt les circuits du relais d'appel RL, des lampes LA_1 et LA_2. D'un autre côté, la lampe de supervision L*g* ne s'allume pas puisque le relais de supervision R*g* est parcouru par le courant allant vers le poste d'abonné, et son armature ferme le circuit du shunt *sh* (40 ω) à travers les bornes L*g*. Ensuite, la téléphoniste met sa clef combinée sur écoute, ce qui place le circuit secondaire de son appareil téléphonique en pont sur les fiches F_1 et F_2. Le condensateur C (2 microfarads) empêche le courant de BC de passer continuellement à travers le récepteur (voir fig. 4*a* et 4*b*).

Dès que la téléphoniste a obtenu le numéro de l'abonné demandé, elle fait le « test » au moyen de la tête de F_2. Si la ligne est libre, le récepteur n'émet pas de son, puisque le corps du jack général est simplement à la terre (fig. 4*a*). Mais si, au contraire, la ligne est engagée, voici ce qui se produit (fig. 4*b*). Les corps des jacks se trouvent en communication avec le pôle — de la batterie centrale BC par un circuit passant par la résistance *r* de 83,5 ω et par la lampe L*g* ou L*d*, suivant que la ligne demandée est occupée par une fiche de réponse F_1 ou d'appel F_2.

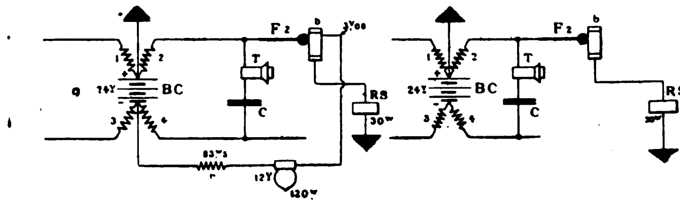


Fig. 4*a* et 4*b*.

Le circuit de BC se trouve donc fermé à la terre par le relais RS. Au point *b* de ce circuit, le potentiel *x* est fonction de la résistance en ce point du circuit, c'est-à-dire que

$$x = \frac{30\,\omega}{83{,}5\,\omega + 120\,\omega + 30\,\omega}\,24\ \text{v}.$$

soit environ un peu plus de 3 volts. Donc, en touchant le point *b* avec la tête de F_2, ce potentiel modifie la charge du condensateur C_1 en produisant le toc dans le récepteur T.

L'abonné étant libre, la téléphoniste insère F_2 dans le jack général et déplace la clef combinée sur « appel ». La lampe de supervision L*d* s'allume par le courant de BC : Pôle —, résistance *r*, lampe L*d*, corps de F_2 et du jack, relais RS, terre, pôle + de BC. L'allumage de L*d* persiste tant que le shunt *sh*, c'est-à-dire tant que R*d* reste inactif, ce qui ne peut avoir lieu qu'après que l'abonné a décroché son récepteur. Le fait de l'allumage de L*d* est une preuve que la ligne de l'abonné demandé se trouve en bon état. La téléphoniste peut donc presser la clef et lancer le courant d'appel dans la ligne. Le retour de ce circuit se fait en passant par la batterie centrale BC; la raison de ce dispositif va être expliquée plus loin, en parlant des lignes d'intercommunication.

Communication établie. — Pendant que la communication est établie entre deux abonnés au moyen de F_1 et F_2, il est aisé de voir que BC envoie son courant à gauche vers l'abonné appelant et à droite vers l'abonné appelé en passant respectivement par les relais R*g* et R*d*, dont la faible self-induction ne nuit pas à la netteté de la conversation [1]. Le rallumage simultané de L*g* et L*d* signale la fin de la conversation; ce signal se produit lorsque les abonnés raccrochent leurs récepteurs. La téléphoniste rompt donc la communication.

Intercommunication entre deux bureaux centraux d'un même réseau urbain. — Considérons maintenant l'arrangement des circuits qui permettent de résoudre ce problème des plus intéressants. Les deux bureaux centraux sont reliés entre eux par des lignes spéciales appelées « lignes auxiliaires » (fig. 5 et 6).

L'abonné demandeur appelle son bureau A de la manière ordinaire et donne le numéro de l'abonné demandé à la téléphoniste de A. Cette téléphoniste, connue sous le nom de téléphoniste A ou de départ, transmet sur une « ligne de service » (non visible dans la fig. 5) le numéro

[1] R*g* et R*d* sont munis de shunts non visibles dans les figures.

de l'abonné demandé à une téléphoniste B (ou d'arrivée) du bureau B auquel appartient l'abonné demandé. Dès que la téléphoniste B connaît le numéro demandé, elle saisit la fiche F d'un monocorde terminant une ligne auxiliaire ll_1 venant du bureau A. Au moyen de la tête de F, elle fait le test au jack général de l'abonné demandé. Pour simplifier les choses, nous ne reproduisons pas dans la figure 5 l'appareillage déjà connu d'un abonné; nous nous bornons à celui de la ligne auxiliaire, en le simplifiant tant que possible. Si la ligne d'abonné est libre, le récepteur F (K étant pressée) reste silencieux, le circuit : Terre, enroulement III de la bobine d'induction, armature supérieure de R_2, clef RC, tête de F, bague du jack de l'abonné demandé, électro du relais séparateur, terre. Si, au contraire, la ligne est occupée, nous savons que la bague du jack est au potentiel de 3,08 volts environ, et, par les raisons déjà expliquées, le récepteur fera entendre le toc caractéristique. La téléphoniste en avertira donc sa collègue en A par la ligne de service.

Supposons maintenant que la ligne soit libre. La téléphoniste de B enfonce F dans le jack général et appelle l'abonné demandé en appuyant sur la clef RC qui est pourvue d'un enclenchement automatique que nous décrirons en détail.

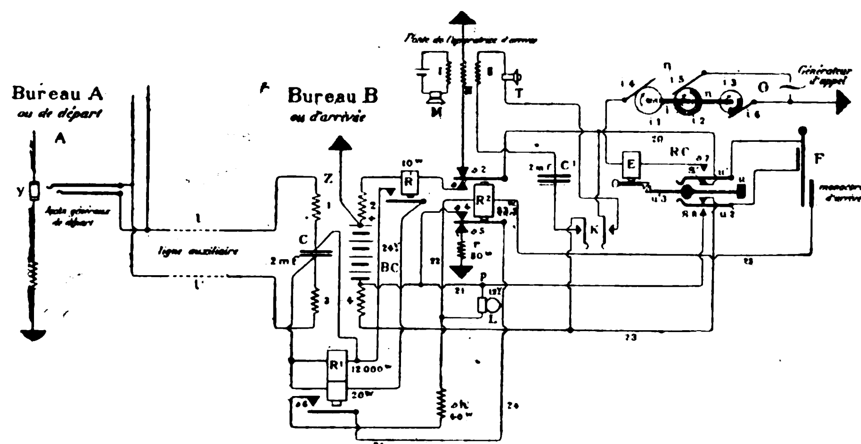


Fig. 5.

Considérons d'abord le circuit local de la batterie centrale BC fermé par le contact entre le corps de la fiche F et la bague du jack de l'abonné demandé. Pôle — de BC, point p, lampe L de 12 volts, relais R_2, 23, corps de F, bague du jack, relais séparateur, terre, pôle + de BC. L s'allume, les relais R_2 et séparateur sont activés. L'attraction des deux armatures de R_2 rompt le circuit d'essai et met la pointe de la fiche F au pôle + de BC, à travers l'électro du relais R (relais de supervision) et l'enroulement 2 du translateur Z. La lampe L reste allumée tant que la téléphoniste de départ en A n'a pas enfoncé une fiche dans le jack général de départ y correspondant au numéro de la fiche F qui lui a été désignée par la téléphoniste d'arrivée. En effet, dès que le jack y est occupé par la fiche F_2 (voir fig. 3 et 5), la batterie centrale du bureau de départ trouve un circuit fermé passant par la ligne auxiliaire et par l'enroulement de 12000 ω du relais R_1, placé à cheval sur le condensateur (2 microfarads) au bureau d'arrivée. R_1 attire donc son armature, ce qui a pour effet de fermer le shunt sh (40 ω) à travers la lampe L, puisque le contact s_4 de R est déjà fermé. L'extinction de L montre à la téléphoniste que sa collègue du bureau de départ a bien compris le numéro de la ligne auxiliaire qui doit être mise en jeu. Si L ne s'éteignait pas, on conclurait en B qu'il y a eu une fausse manœuvre en A, et avis serait immédiatement donné. L reste éteinte pendant toute la durée de la conversation; elle s'allume au moment où A retire la fiche de y, le relais R_1 lâche alors son armature et supprime le shunt sh. Cette lampe constitue donc un signal automatique de fin de conversation, elle peut également servir à donner un signal d'arrêt à la téléphoniste B au cas où cette dernière retire la fiche F du jack de l'abonné demandé avant que la com-

munication en soit rompue au bureau de départ A. En effet, en retirant F, le relais R_2 se remet au repos; il en résulte pour la lampe L une transformation de circuit telle que la fermeture du contact s_6 du relais R_1 (au lieu de l'éteindre) provoque, au contraire, son allumage. Voici pourquoi. Le courant de BC trouve un circuit fermé : Pôle —, conducteur 21 jusqu'au point p, L, résistance sh, contact s_6, conducteur 24, contact s_5, résistance r de 80 ω à la terre, pôle + BC. Ce circuit est uniquement commandé par s_6, le relais R_2 étant au repos par suite de l'enlèvement de la fiche F. Or, ce contact s_6 reste fermé tant que la fiche reste dans le jack y du bureau de départ A.

Montrons à présent le mécanisme du signal de fin de conversation au bureau de départ A, qui doit conserver le contrôle absolu de la communication. On voit (fig. 5) que tant que le relais R reste au repos, le courant émis par la batterie centrale du bureau A trouve sur la ligne auxiliaire un circuit fermé en passant par l'enroulement de 12 000 ω de R_1. Son intensité est donc inférieure à 0,002 ampère, puisque outre les 12 000 ω il y a la résistance de la ligne, l'enroulement du relais de supervision Rd de A (voir fig. 3) et des bobines 2-4 du translateur Z, correspondant à la fiche F_2 insérée dans le jack y de la ligne auxiliaire. Cette faible intensité est suffisante pour activer R_1, mais tout à fait insuffisante pour agir sur le relais de supervision Rd de A. Or, le relais de supervision R du bureau d'arrivée B reste inerte tant que l'abonné demandé n'a pas décroché son récep-

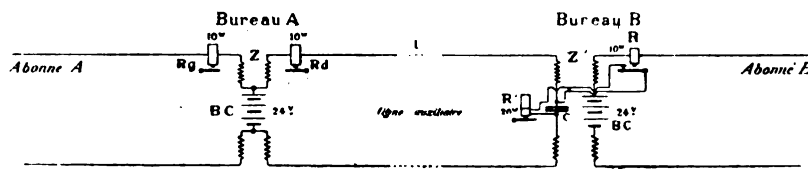


Fig. 6.

teur. Dès que ce dernier est décroché, la ligne auxiliaire se trouve shuntée autour du condensateur C (fig. 6) par l'enroulement de 20 ω de R_1, ce qui élève énormément l'intensité circulant dans la ligne auxiliaire, de sorte que Rd en A attire son armature en éteignant sa lampe de supervision.

Pour compléter la description un peu longue de l'appareillage du monocorde, nous dirons un mot sur le fonctionnement de la clef d'appel RC (fig. 5).

En appuyant sur le bouton u, les ressorts u_1 u_2 quittent les contacts de repos et frottent contre les contacts de travail; en même temps, la tige u_3 enclenche sous l'armature de l'électro E et reste verrouillée. Or, l'enroulement de E est intercalé entre le contact s_7 de RC et le pôle libre du générateur d'appel. L'électro E est réglé de façon à rester inerte tant que l'abonné demandé n'a pas décroché son récepteur; l'armature sera attirée dès que la résistance de la ligne descend vers la « valeur finie ». Afin d'éviter les inconvénients d'un appel ininterrompu, on intercale dans le circuit de E un interrupteur constitue par trois disques i_1 i_2 i_3, montés sur un même axe et dont le mouvement est commandé par un engrenage relié à l'axe du générateur (dynamo Crooker-Wheeler). La vitesse de rotation des disques i_1 i_2 i_3 et la grandeur relative des segments isolés de i_2 et i_3 sont calculés de telle façon à obtenir, disons, une période d'appel de deux et une intermittence de huit secondes. Le disque i_1 est entièrement métallique. Le balai i_5 est en contact avec l'axe i (reliant les trois disques) pendant que le balai i_6 en est isolé et réciproquement. Donc, pendant la période de contact du balai i_5 avec l'axe i, le pôle libre du générateur est relié à la tête de la fiche F, la nuque de F communique avec la terre à travers la batterie centrale BC. L'intensité des courants alternatifs suffit à actionner la sonnerie de l'abonné (1 000 ω), mais elle ne peut agir sur l'électro E. Si, pendant la période d'appel, l'abonné décroche son récepteur, il fait descendre la résistance totale, de sorte que E fonctionne, et en déclenchant u_3 remet la clef RC au repos. Pendant la période de contact du balai i_6 axec l'axe i, la tête de F se trouve reliée à la terre, tandis que la nuque est reliée au pôle — de BC. Par conséquent, si l'abonné demandé décrochait son récepteur pendant la période de non-appel, le relais de déclenchement E, activé

dans ce cas par BC, fonctionnerait quand même. La disposition ingénieuse d'intercaler la batterie centrale dans le circuit d'appel permet d'éviter toute perte de temps dans l'établissement des communications entre deux bureaux d'un même réseau urbain.

Il est à remarquer que le bouton *u* de la clef de déclenchement automatique RC joue le rôle de signal indiquant à la téléphoniste que l'abonné demandé a ou n'a pas répondu à l'appel.

On voit que la ligne auxiliaire n'a aucun contact à la terre, de cette façon la production de « friture » est entièrement empêchée, ce qui est surtout appréciable pour le cas où l'abonné demande une ligne à longue distance.

Chaque monocorde F terminant une ligne auxiliaire est muni d'une clef d'écoute K (fig. 5), afin de permettre à la téléphoniste de s'intercaler sur la ligne et de s'assurer du bon fonctionnement de la communication.

L'exploitation des lignes interurbaines se fait d'après les mêmes principes, donc nous ne nous en occuperons pas, et nous nous bornons à la remarque suivante. Les Anglais appellent les lignes interurbaines « trunk lines » et les lignes auxiliaires « junction lines ». Aux Etats-Unis,

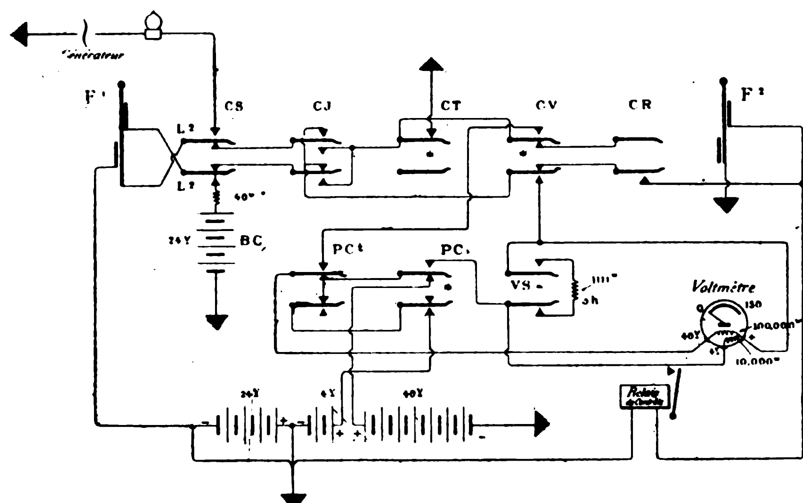


Fig. 7.

au contraire, les lignes interurbaines sont connues sous le nom de « toll lines » et les lignes auxiliaires sous celui de « trunk lines ».

Vérification électrique des circuits et relèvement des dérangements. — Les lignes téléphoniques doivent être essayées régulièrement, et chaque administration possède un système particulier de mesures appropriées à cet usage. Evidemment, c'est la continuité et l'isolement de la boucle qui joue le premier rôle; quant à la résistance du cuivre, il n'est pas pratiquement utile de la connaître. Il n'y a pas longtemps qu'on se servait volontiers du pont de Wheatstone pour avoir la résistance ohmique, mais depuis quelques années on a su tirer profit des admirables voltmètres et milliampèremètres de précision (Weston, Chauvin et Arnoux, Siemens et Halske), qui permettent d'obtenir un résultat suffisamment exact sans perte de temps aucune. Nous nous sommes servi de ces appareils à la mesure des câbles de la région fortifiée du Saint-Gothard, déjà en 1897, dans des circonstances particulières, où le pont et le galvanomètre Desprez-d'Arsonval refusaient de fonctionner. Nous allons décrire un arrangement de la Western Electric C° qui permet, avec un appareillage assez modeste, d'effectuer toutes les mesures de la pratique courante.

Ce dispositif (fig. 7) se compose de huit clefs du modèle ordinaire (clef d'appel), d'un voltmètre, d'un relais et de deux fiches à trois contacts. Le voltmètre, du système Weston, a deux circuits, l'un de 100 000 ω, l'autre de 10 000 ω. L'ajustage est tel que la batterie de 40 volts donne le maximum de la déflection, c'est-à-dire 150° à travers les 100 000 ω. Par contre, pour la détermination de la résistance du conducteur,

on presse la clef VS de façon à relier le shunt *sh* à l'enroulement de 10 000 ω, de façon à réduire cette valeur à 1 000 ω; dans ce cas la pile de 4 volts donne 150° à l'échelle.

Résistance du conducteur d'une boucle. — On presse les quatre clefs CT, CV, PC, VS (marquées d'astérisques dans la figure 7) après avoir enfoncé la fiche F_1 dans le jack de l'abonné (récepteur *décroché*). Marche du courant : Pôle + de la pile de 4 volts, PD, PC*t*, PC (lame supérieure), VS, voltmètre shunté, VS (lame supérieure), CV (lame inférieure), CJ, CS, nuque de F_1. jack, ligne 1, abonné, ligne 2, tête de F_1, CS, CJ CT, terre, pôle — de la pile. Les 4 volts donnent, comme nous avons dit plus haut, 150°; on a donc

$$\frac{4}{1\,000} = 150^{\circ} \text{ (constante)}.$$

Admettons que la mesure de la boucle 1-2 nous ait donné 100°, on a

$$\frac{4}{1\,000 + x} = 100$$

et en combinant les deux équations

$$x = \frac{1\,000\,(150 - 100)}{100} = 500 \text{ ohms}.$$

Résistance d'isolement. — Clef CV pressée. Marche du courant : pile de 40 volts, pôle +, PC, PC*t*, voltmètre 100 000 ohms, CV, CJ, CS, nuque de F_1, ligne 1, abonné (récepteur *accroché*, la résistance du poste est infime si le conducteur est en parfait état), terre, pôle —. On mesure donc la résistance d'isolement entre la branche L_1 de la ligne et la terre. Pour obtenir celle de L_2 et la terre, on n'a qu'à presser CJ, ce qui renverse les liaisons avec F_1. Si d_1 est la constante du voltmètre (150 divisions pour 40 volts), d_2 la déflection d'isolement, on a

$$x = \frac{d_1 \times 100\,000}{d_2}.$$

Découverte de courants étrangers sur les lignes. — Clefs PC*t* et CV pressées. Le voltmètre, enroulement de 100 000 ohms, se trouve inséré à l'exclusion de la pile, entre la nuque et la tête de la fiche F_1. En agissant sur CJ et CT, on peut mettre chacune des branches L_1 L_2 à la terre.

Capacité d'une ligne. — Un condensateur de 2 microfaradas, chargé par une pile de 40 volts, donne environ 75° au voltmètre (enroulement de 100 000 ohms). Pour essayer la ligne, on presse CV_1 CT, puis on abaisse et relève alternativement et rapidement la clef d'inversion CJ; donc la ligne se trouve chargée et déchargée, les déviations se lisent au voltmètre.

Détermination d'un contact avec la terre. — L'opération est la même que pour l'essai d'isolement. La clef CV pressée, on vérifie L_1 contre la terre. Puis, en manœuvrant CJ, on fait la même chose à l'égard de L_2. Il est, du reste, préférable, surtout dans le cas d'un contact incertain ou intermittent, de se servir d'un relais de contrôle qui agit sur un frappeur (omis dans la figure 7). On vérifie d'abord L_1 en enfonçant L_2 dans le jack. Marche du courant : pile de 24 volts, pôle —, relais de contrôle, nuque de F_2, L_1, contact avec la terre, pôle +. Si le défaut est assez peu résistant, le relais fonctionne. Si la dérivation est sur la ligne L_2, on se sert de la fiche F_1 en pressant les clefs CR et CJ. Marche du courant : pile de 24 volts, pôle —, relais de contrôle, CR, CV, CJ, contact de travail supérieur, CS, tête de F_1, L_2, terre, pôle +.

Ce système permet donc d'exécuter des mesures courantes au moyen d'un appareillage des plus simples et des plus ingénieux.

ÉCLAIRAGE

Dissymétrie du flux lumineux donné par les lampes à incandescence, par **F.-W. Willcox.** *American Electrician*, t. XIII, p. 513, octobre 1901.

Dans une communication faite récemment à la National Electric Light Association, M. Francis W. Willcox a présenté de nombreux diagrammes polaires montrant la répartition du flux lumineux émis par une lampe à incandescence dans divers plans passant par l'axe de la lampe. Ces diagrammes sont résumés par les figures ci-jointes.

Si l'on excepte la lampe de la figure 6, on voit que ce sont les lampes à filaments en U (fig. 1) ou filaments à simple boucle, qui donnent la répartition la plus symétrique autour de l'axe; point n'est besoin, par conséquent, d'employer des filaments plus compliqués qui généralement ont pour résultat une augmentation du prix de revient des lampes.

A l'exception de cette même lampe 6, toutes

les autres ont, suivant la direction même de l'axe, une intensité beaucoup plus faible (un tiers ou la moitié) que suivant l'horizontale contenue dans le plan du filament ; elle augmente de la lampe 1 à la lampe 5, mais cette augmentation est trop faible pour justifier l'emploi de filaments de formes compliquées.

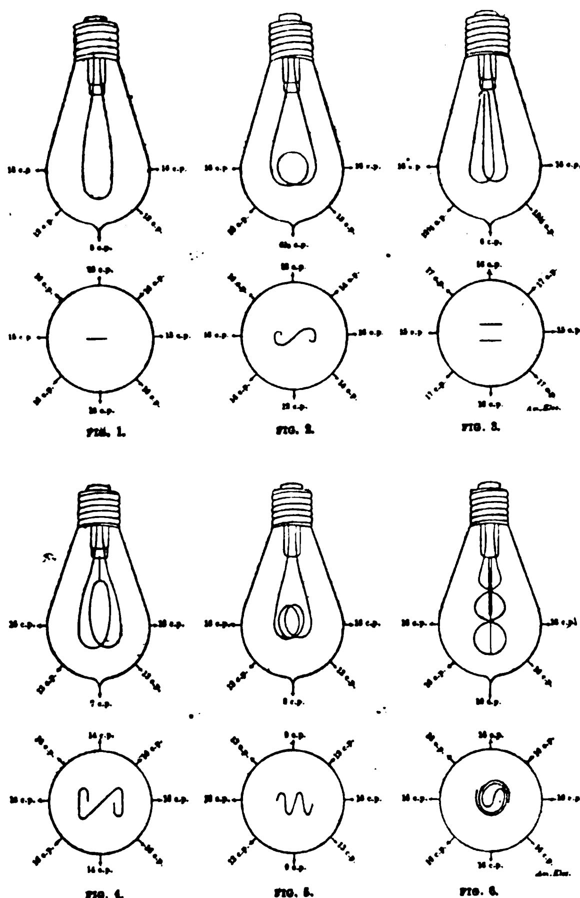


Fig. 1.

La lampe 6 qui donne une répartition bien régulière de la lumière est la lampe « Sterling ».

Sous ce rapport, cette lampe réalise un perfectionnement intéressant. Mais comme le plus souvent ce qu'on désire est un fort éclairement des surfaces horizontales (tables de travail et de salles à manger, plafonds), qui, avec la disposition ordinaire des lampes, sont précisément les plus mal éclairées, il n'est pas besoin de recourir à l'emploi d'un filament aussi contourné que celui de la lampe « Sterling » : il suffit de disposer une lampe ordinaire, de manière que son axe soit horizontal [1].

J. Reyval.

DIVERS

Appareil Spilberg avertisseur de l'approche de navires en fer. Brevet Belge, n° 146575, du 2 décembre 1899.

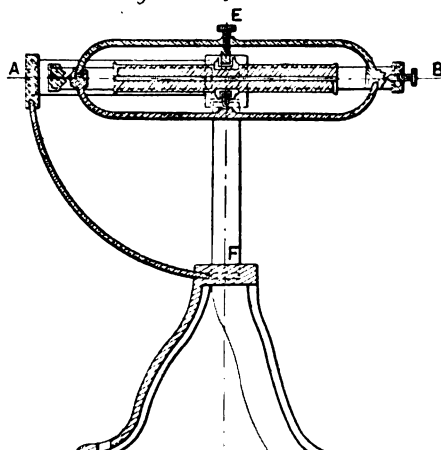
Cet avertisseur se compose essentiellement d'un aimant mobile, entouré par un solénoïde dont le circuit est fermé sur un relais ; quand un navire en fer vient à passer à une certaine distance de l'appareil, la perturbation qu'il apporte dans le champ magnétique fait devier l'aimant et le solénoïde devient le siège d'un courant induit qui, par l'intermédiaire du relais, fait fonctionner une sonnerie.

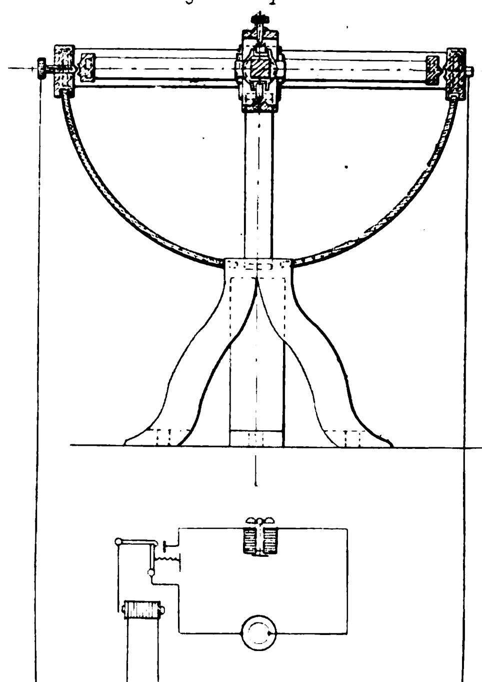
Comme l'appareil doit nécessairement, pour remplir son but, être extrêmement sensible à toute perturbation du champ magnétique, il faut, pour qu'il ne fonctionne pas inopportunément, le disposer de manière que le champ magnétique terrestre et le champ créé par le navire qui le porte, n'agissent pas sur lui quand ce navire se déplace.

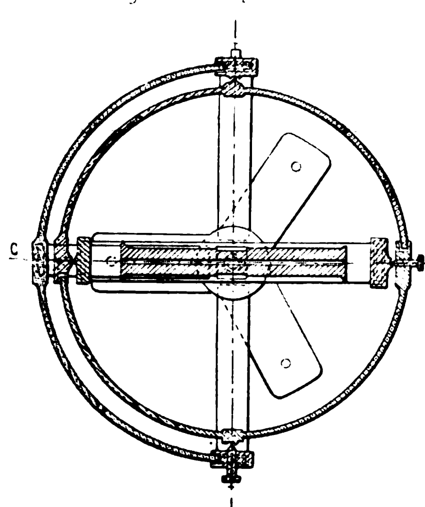
Si le navire est en bois, le champ magnétique terrestre seul est à considérer. Alors il suffira de maintenir l'appareil fixe par rapport à ce champ magnétique. On y parvient en suspendant l'aimant et le solénoïde à la manière d'une aiguille aimantée. Les figures 1 à 5 représentent la disposition préconisée par l'inventeur : on voit dans les deux dernières les pivots qui servent à la fois d'axe de rotation à l'équipage mobile, et de pièces de contact pour conduire au relais (dont le schéma est indiqué en figure 3) le courant d'induction développé ; les autres figures représentent une suspension à la cardan qui présente ceci de particulier que les anneaux de support sont formés de deux parties en métal non magnétique (cuivre ou bronze), isolées l'une de l'autre par des matériaux diélectriques, afin que chaque partie puisse servir de conducteur au courant ; les pivots sont faits d'acier au man-

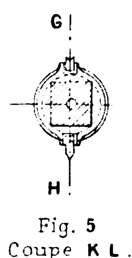
[1] Il n'est peut-être pas inutile de faire observer que c'est précisément l'idée appliquée par M. Solignac dans une lampe, signalée ici l'an dernier, et qui, rappelons-le, se compose d'une lampe ordinaire fixée à un réflecteur de telle sorte qu'en attachant l'ensemble à une douille verticale le filament se trouve dans un plan horizontal.

ganèse non magnétique. L'inventeur ne se dissimulant pas les difficultés de construction d'un tel dispositif, propose également, au moins pour des essais faits à terre pour s'assurer de la sensibilité de l'appareil, le dispositif de la figure 6 où le relais est relié à la bobine mobile par l'intermédiaire de deux godets à mercure. Comme relais, il propose soit le relais à déclic (fig. 3)









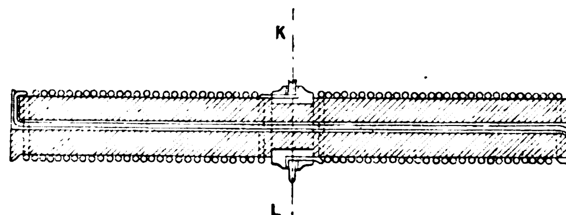


Fig. 1 à 5. — Avertisseur Spilberg.

avec lequel la sonnerie reste en action tant que l'armature n'a pas été remise en place à la main, soit le relais à ressort de rappel (fig. 7) qui rompt le circuit de la sonnerie dès que le courant d'induction cesse.

Pour reconnaître la direction dans laquelle se trouve le navire en fer dont l'appareil est destiné à déceler la proximité, l'inventeur propose d'employer quatre indicateurs placés comme l'indique la figure 8, l'indicateur A fonctionnant le premier si le navire vient dans la direction f_1, B si le navire vient suivant f_3, etc.

Si le navire portant les indicateurs est lui-même en fer, il y a lieu de craindre que le champ propre du navire n'influence ceux-ci quand le navire changera de direction. Toutefois, l'in-

venteur admet que, en raison de ce que le fer ne présente pas de magnétisme rémanent, le champ propre du navire prendra toujours la direction du champ magnétique terrestre, que la variation du champ en intensité ne pourra pas

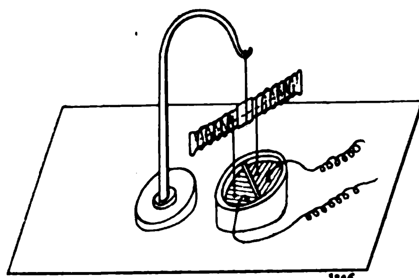


Fig. 6.

à elle seule influencer l'appareil à cause de la lenteur et de la petitesse de cette variation et qu'en définitive on se trouvera comme dans le cas précédent.

Si, enfin, le navire est en acier, ce qui est aujourd'hui le cas le plus fréquent, le champ

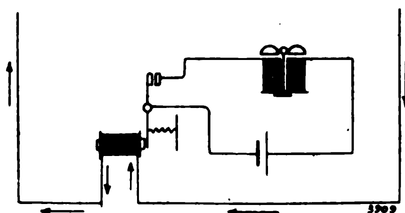


Fig. 7.

magnétique propre du navire se déplace en direction en même temps que celui-ci et se modifie en intensité suivant la position du navire; et comme l'appareil prend constamment la direction du champ résultant de ce champ propre et du champ terrestre, il se déplacera, par rapport à ce dernier, à chaque changement de position du navire ; et des courants d'induction prendront naissance. Cependant comme les virements d'un navire sont toujours très lents, la force électromotrice développée et, par suite, l'intensité des courants, seront très faibles et n'agiront probablement pas sur le relais. Néanmoins pour éviter toute action sur le relais, l'inventeur propose de relier, en parallèle, deux à deux, les appareils symétriques, (tels A et C de la fig. 8) à un même relais (fig. 9). Toute influence magnétique intérieure du navire agissant également sur les appareils symétriques, les courants produits de ce chef se neutraliseront dans le relais et celui-ci ne fonctionnera pas ; mais on perd ainsi l'avantage de reconnaître, dans le cas où le relais fonctionne par suite de l'approche d'un autre

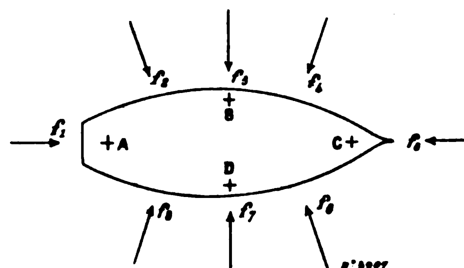


Fig. 8.

navire, la direction dans laquelle vient ce dernier.

Voudrait-on conserver le dernier avantage, on se servirait de relais à ressort de rappel (fig. 7) et l'on disposerait les quatre indicateurs isolément. Toute influence propre du navire agissant également sur les quatre appareils, tous entreront en fonctionnement en même temps et cette circonstance seule suffirait pour qu'on puisse facilement distinguer ce fonctionnement inopportun de celui résultant de l'approche d'un autre navire.

Les deux dernières diopositions répondent

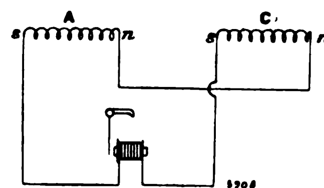


Fig. 9.

aussi à l'objection générale concernant l'action des masses en fer qu'on déplace sur le navire et elles dispensent d'avoir recours aux procédés de compensation qu'on emploie pour la boussole marine ordinaire.

B. Cartello.

Le Gérant : C. NAUD.

Tome XXIX. Samedi 7 Décembre 1901. 8e Année. — N° 49.

L'Éclairage Électrique

REVUE HEBDOMADAIRE DES TRANSFORMATIONS

Électriques — Mécaniques — Thermiques

DE

L'ÉNERGIE

APPAREILS DE MESURES

Dans les électromètres les déviations suivent une loi qui est fonction du carré de la différence de potentiel à mesurer; il en résulte que les déviations sont très inégales et que l'étendue utile de l'échelle est très limitée. Pour remédier à cet inconvénient, J.-S. Townsend, H.-A. Wilson et J.-A. Mc Clelland [1] proposent les modifications suivantes : les aiguilles A_1 à A_8 sont montées sur l'axe vertical A : leur forme est déterminée de façon à ce qu'elles donnent une déviation à peu près proportionnelle à la différence de potentiel à mesurer et un angle de déviation aussi grand que possible.

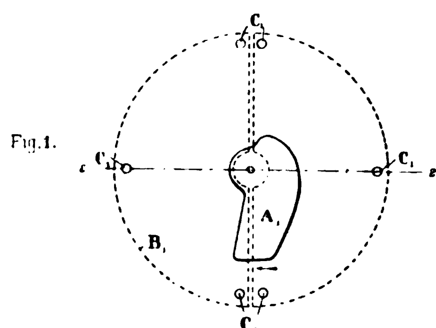
Les quadrants sont formés de boîtes semi-circulaires dans lesquelles entrent plus ou moins les aiguilles; au départ, la plus grande partie de l'aiguille est placée daus le quadrant avec lequel elle est connectée, de sorte que celui-ci la repousse, tandis que le quadrant opposé l'attire (fig. 1).

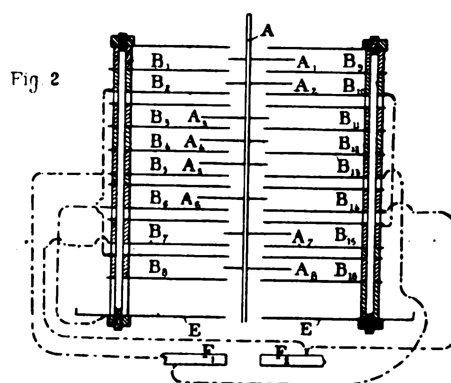
Pour faire varier la sensibilité de l'instrument, les quadrants sont réunis par groupes et peuvent être employés en plus ou moins grand nombre. Le commutateur représenté dans les figures 4 à 6 présente deux groupements différents : dans la position de la figure 5, les ressorts F_1 et F_2 sont reliés à la borne isolée G (fig. 4), ainsi que les quadrants B_1, B_2, B_7, B_8, B_{11}, B_{12}, B_{13}, B_{14} (fig. 2) ; les autres quadrants étant reliés à la base E de l'instrument, si on établit entre G et cette base la différence de potentiel à mesurer, on obtient la plus grande sensibilité.

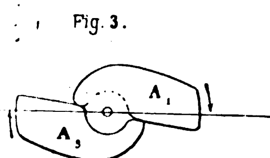
Quand le commutateur est tourné dans la position de la figure 6, le ressort F_1 est relié

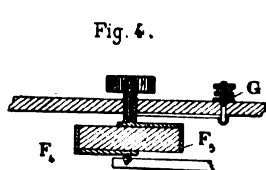
[1] Brevet anglais n° 6894, déposé le 30 mars 1899, accepté le 3 février 1900. 6 figures.

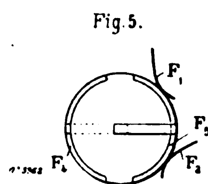
à la base E, par conséquent, les quadrants correspondants sont mis en repos, seuls les quadrants B_7 et B_{14} sont actifs puisqu'ils sont reliés à la borne G ; dans ces conditions, il faut une différence de potentiel deux fois plus grande pour obtenir la même déviation, puisque la capacité du











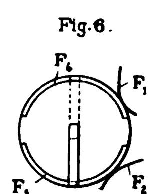


Fig. 1 à 6. — Vue en plan, coupe verticale et détails de l'électromètre Townsend, Wilson, Mc Clellan.

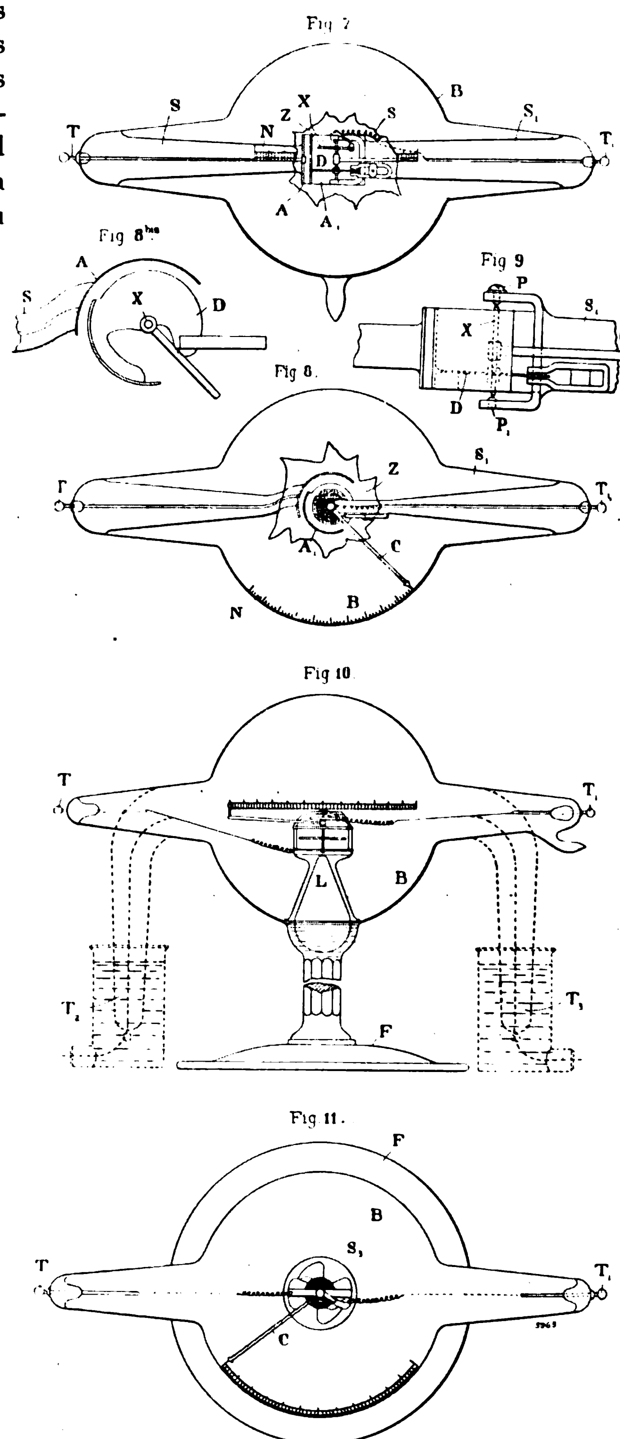


Fig. 7 à 11. — Dispositions variées des électromètres E. Thomson.

système est quatre fois plus petite. On conçoit que des dispositions de ce genre peuvent être très variées.

Afin d'augmenter la sensibilité d'un électromètre, tout en diminuant les chances de décharges disruptives qui sont susceptibles de provoquer des courts circuits dangereux, M. E. Thomson [1] place les armatures, fixe et mobile, de ses électromètres, dans une ampoule où un vide suffisant est ensuite fait ; on sait que, pour certaines pressions extrêmement faibles, la résistance au passage de la décharge est presque infinie.

Le système électrostatique peut être quelconque ; dans les figures 7 à 9 on voit un des dispositifs que l'on peut adopter. Le secteur fixe A est monté sur un support en verre S et le secteur mobile est porté par un disque D fixé lui-même à l'axe X qui tourne dans des chapes convenables.

Un petit aimant agit sur le disque pour amortir les oscillations.

Les parties actives de l'appareil peuvent être supportées par deux colonnes de verre SS_1, de façon à éloigner les prises de courant extérieures TT_1 et à éviter les décharges à la surface. Pour les tensions moins élevées, il est possible de faire porter les organes essentiels par un seul support L, figures 10 et 11. Enfin, pour éviter les décharges entre les fils des connexions extérieures, on peut recourber les tubes T et T_1, qui portent les bornes, de façon à les faire plonger dans les godets à huile T_2, T_3, où arrivent également les conducteurs du circuit. Bien entendu, l'index et l'échelle divisée doivent être placés à l'intérieur de l'ampoule.

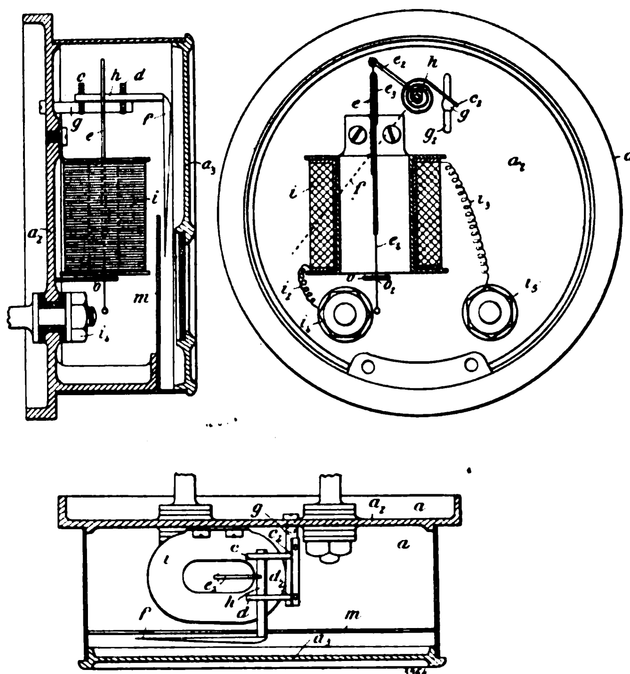


Fig. 12 à 14. — Galvanomètre à fer doux de L.-J. Steele.

Le galvanomètre de L.-J. Steele [2], qui peut servir comme ampèremètre et voltmètre, est composé d'un solénoïde *i*, figures 12 à 14, qui attire un noyau de fer doux *e*, disposition bien connue. La seule particularité du système, c'est que l'inventeur, dans le but de supprimer les frottements dus au pivotage, fait reposer le noyau de fer sur un bras e_2, attaché lui-même aux extrémités intérieures *h* de deux ressorts spiraux *c* et *d* ; les extrémités extérieures de ces ressorts sont portées par une potence c_2, fixée au fond de l'instrument.

Quand le noyau de fer est attiré, il entraîne le bras e_2 et fait enrouler les ressorts ; un index *f*, fixé au croisillon *h* qui réunit les bouts intérieurs des ressorts, sert à indiquer, sur un cadran *m*, la déviation obtenue.

A l'extrémité inférieure du noyau de fer est fixé un léger poids porté par un fil e_4 ; ce dernier passe, en frottant légèrement, dans le trou o_2 d'une pièce fixe *o* ; ce frottement est destiné à amortir les oscillations du système.

Les dispositions revendiquées par E.-C. Rimington [3] sont analogues à celles du brevet

[1] Brevet anglais n° 12842, déposé par The British Thomson Houston Comp. le 20 juin 1899, accepté le 10 février 1900. 6 figures.

[2] Brevet anglais n° 6951, déposé le 12 avril 1900, accepté le 26 mai 1900. 4 figures.

[3] Brevet anglais n° 13617, déposé le 30 juin 1899, accepté le 30 juin 1900. 4 figures.

ci-dessus ; elles ont pour but la réalisation d'appareils de mesures simples et peu coûteux. Il n'y a pas de pivotage ; l'organe mobile : noyau de fer C, figure 15, bobine cylindrique M, figure 17, ou bobine plate M, figure 18, est porté par un ressort B, fixé à un support A ; le prolongement D du ressort forme index et permet la lecture sur une échelle divisée L. La bobine fixe, qui attire le noyau de fer C ou la bobine mobile M, est un solénoïde plat E, figures 15 et 16, ou une bobine plate E, figure 18, dont le plan est parallèle à la bobine mobile.

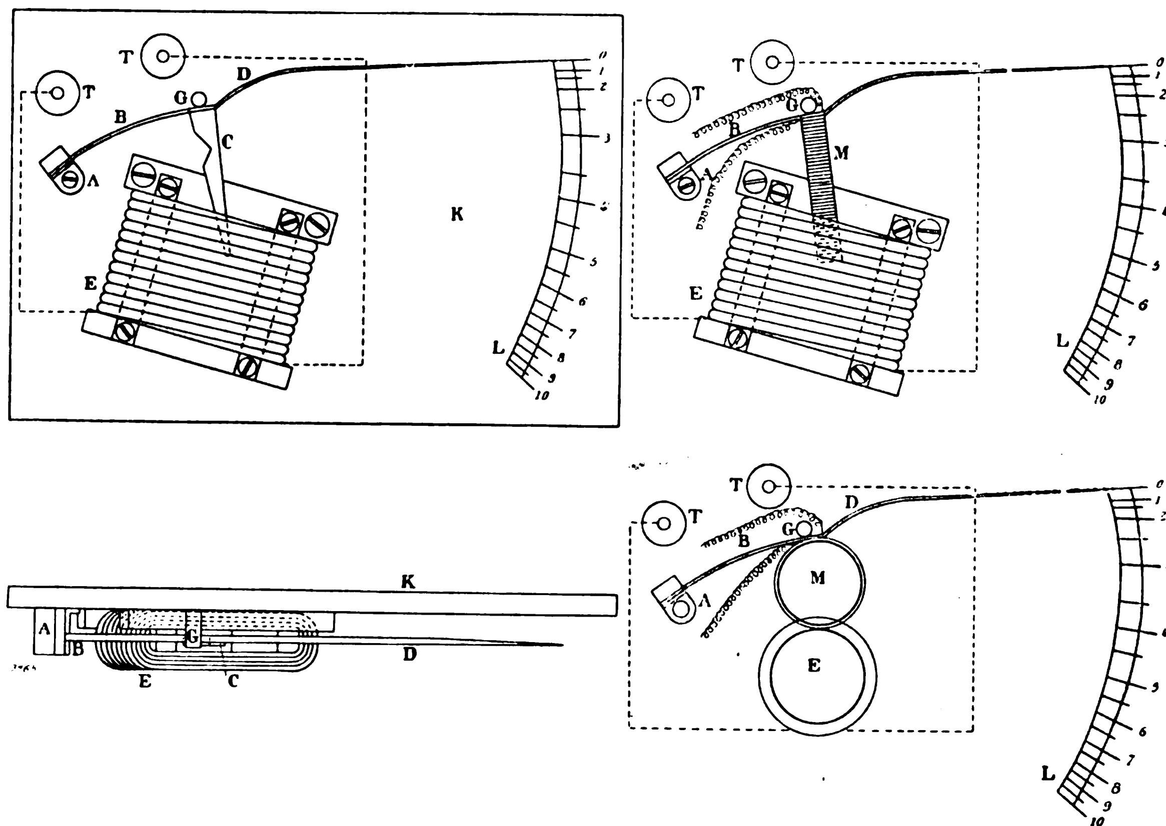


Fig. 15 à 18. — Galvanomètre à fer doux de Rimington.

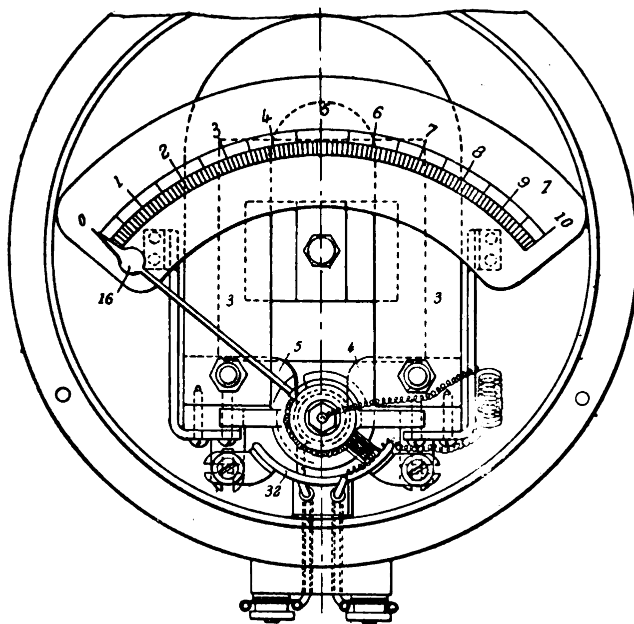
La forme donnée au galvanomètre à cadre mobile par H.-Ph. Davis et F. Conrad [1], paraît se recommander surtout par sa complication.

Le cadre mobile 13, figure 22, est excentré par rapport à l'axe de pivotage 11-12 ; il est porté par des bras 14-15 et enroulé sur un cadre d'aluminium 24. Le pivotage se compose des pivots fixes 11-12, sur lesquels reposent des agates portées par les bras 14-15. Les ressorts spiraux 17 et 22 sont tenus aux crochets 141 et 212 du système mobile, tandis que leurs extrémités intérieures sont attachées aux tiges fixes 11 et 12 ; cette disposition, inverse de ce qui se fait habituellement, a pour effet, paraît-il, de soulager les pivots du du poids des ressorts !... Deux contrepoids 131 équilibrent le cadre et servent à l'amortissement.

Le champ magnétique est fourni par deux aimants en U, parallèles, 2 et 3, figures 19 à 21, dont les pôles de noms contraires sont en regard.

[1] Brevet anglais n° 21810, déposé le 31 octobre 1899, accepté le 15 septembre 1900. 5 figures.

Ces aimants se terminent à la partie inférieure par deux pièces polaires en arc de cercle, 4 et 5, le cadre 13 embrassant la pièce 4; une pièce de fer courbée, 32, sert à régler l'uniformité du champ traversé par le cadre mobile.



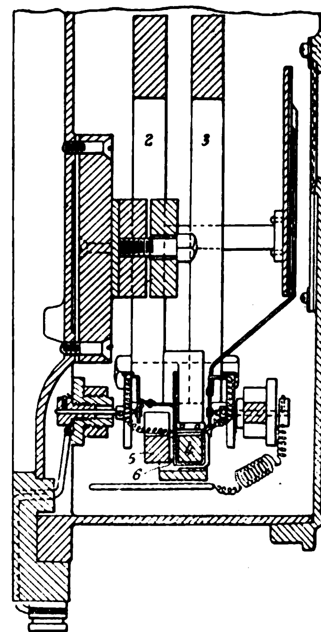
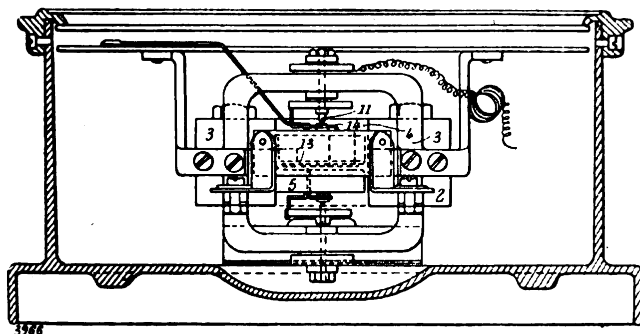


Fig. 20

Fig. 22.



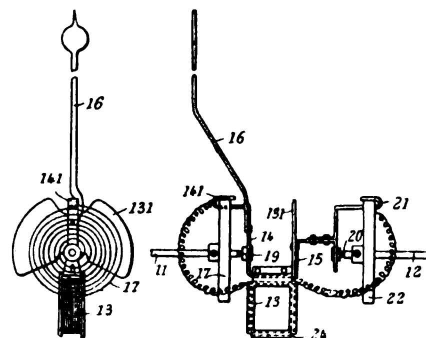


Fig. 19 à 22. — Galvanomètre à cadre mobile de Davis et Conrad.

La disposition proposée pour la construction d'ampèremètres et de voltmètres à bon marché, par L.-B. Atkinson (1), n'est pas autre chose que celle de l'aréomètre De Lalande, disposition déjà bien oubliée comme le montre le brevet actuel, figures 23 à 25.

Dans un tube de verre C, fermé aux deux bouts et rempli partiellement d'un liquide, flotte un aréomètre A, dont la tige inférieure *a* renferme un fil de fer; un solénoïde E agit sur ce fil et l'attire en faisant monter l'aréomètre. Une échelle divisée G permet de mesurer l'élévation obtenue et, après graduation, l'intensité du courant. Le tube C peut être

(1) Brevet anglais n° 23319, déposé le 22 novembre 1899, accepté le 6 octobre 1900. 6 figures.

rempli de deux liquides ne se mélangeant pas, et il est alors possible de renverser l'aréomètre en mettant la tige en bas, figure 24.

Comme la température modifie la densité du liquide et, par suite, la poussée sur l'aréomètre, l'inventeur emploie comme liquide une solution d'un sel dont la solubilité varie rapidement avec la température, de façon à conserver une densité à peu près constante. Enfin, pour obtenir des mesures plus exactes? l'inventeur place sur le côté un thermomètre permettant de faire les corrections nécessaires.

Fig. 23 à 25. — Galvanomètre Atkinson

Substituer aux grands déplacements de l'organe mobile des galvanomètres le mouvement d'une colonne liquide afin d'obtenir un moyen plus simple et plus précis de mesures, telle est l'idée de MONTGOMERY WADDELL (1).

Pour atteindre ce résultat, le système galvanométrique proprement dit n'a qu'un déplacement insignifiant; son action s'exerce par une simple *pression* sur une valve d_1, figure 26,

Fig. 26. — Galvanomètre Montgomery Waddell.

Fig. 27. — Voltmètre compensé pour la perte de charge, de Duncan.

laquelle règle l'échappement de l'air amené dans le tube *c* par le tube capillaire e_3. L'organe de lecture se compose du manomètre à colonne liquide *b*, que l'on place sur le devant

(1) Brevet anglais n° 20298, déposé le 10 octobre 1899, accepté le 24 février 1900. 5 figures.

du tableau, et d'un réservoir B en communication par le bas avec le tube de niveau *b* du manomètre. Le réservoir B a une grande section relativement au tube *b*. La partie supérieure du tube *b* communique avec *c*, et l'espace C_1 du réservoir est en communication avec l'atmosphère.

Les choses étant ainsi disposées, le manomètre indique à chaque instant la pression qui règne dans le tube *c*. Le tube capillaire e_3, roulé en hélice, établit la communication entre un réservoir de gaz comprimé à pression constante et le tube *c*.

Au repos, la valve d_1 étant fermée, le manomètre indique la pression du réservoir. Dès que le courant passe dans le galvanomètre, la valve, étant soumise à une pression extérieure moindre, se soulève légèrement, laisse échapper le gaz et la pression en *c* prend une valeur plus faible ; à chaque régime du courant correspond évidemment une pression différente et il est facile de graduer le manomètre *b* en fonction des intensités. Le rôle du tube capillaire est de régler l'arrivée du gaz dans le tube *c* et d'éviter ainsi les à-coups de la pression.

Le galvanomètre employé est très simple : il se compose d'une petite bobine cylindrique creuse q_1 qui est portée à l'extrémité du fléau *p* ; cette bobine entoure le pôle d'un aimant M en forme d'U, dont l'autre pôle est muni d'une armature *m* qui vient entourer la première branche, en ne laissant qu'un étroit entrefer annulaire dans lequel se loge la bobine q_1. Un contrepoids p_1 permet de régler la pression exercée par la bobine sur la valve d_1 ; la bobine mobile ne fait que des mouvements imperceptibles.

La disposition de Th. Duncan [1] a pour but de faire connaître la perte de charge dans les conducteurs principaux d'un réseau, de façon à maintenir la différence de potentiel constante en un point choisi ; c'est un voltmètre à compensation (fig. 27), dans lequel deux cadres mobiles sont invariablement fixés ensemble. Le premier, *h*, muni d'une résistance K et d'un interrupteur *i*, sert à mesurer la différence de potentiel au départ de la machine *a*. Le second cadre, *n*, est connecté entre les points *o* et *p* d'un même conducteur ; une résistance *q* et un interrupteur *t* sont intercalés dans le circuit. Les connexions sont telles que le courant dérivé dans le cadre tend à faire tourner le système en sens inverse de la rotation donnée par *h* ; donc, en abaissant les deux clefs *i* et *t*, on peut, quand les résistances *k* et *q* sont convenablement réglées, mesurer la différence du potentiel en un point du réseau choisi d'avance, puisque l'indication donnée par *h* se trouve diminuée d'une quantité proportionnelle à l'intensité dans les conducteurs principaux. Le fil de retour *r* peut être remplacé par deux prises de terre S.

(*A suivre.*)

H. Armagnat.

ÉTUDES SUR L'EXPLOITATION DES TRAMWAYS

DÉPENSE D'ÉNERGIE D'UNE VOITURE

Dans ce qui va suivre, on s'est préoccupé, d'abord, de rechercher la dépense moyenne d'énergie à fournir à une voiture par heure ou par jour, en fonction du poids, de la vitesse moyenne normale, du nombre et de la durée des arrêts, du coefficient de frottement, du rapport des diamètres de la roue et de la fusée.

[1] Brevet anglais n° 10133, déposé le 1er juin 1900, accepté le 8 septembre 1900. 1 figure.

***

I. Cas ou la voiture est en palier. — Soient : P le poids de la voiture;

v la vitesse moyenne normale, c'est-à-dire le quotient du nombre de mètres du trajet total par la durée du parcours évaluée en secondes;

g, l'intensité de la pesanteur;

f, le coefficient de frottement moyen de fer sur fer;

r, le rayon de la fusée;

R, le rayon de la roue.

Pour la mise en mouvement d'une voiture, on distingue trois phases, savoir :

a. Le démarrage proprement dit ou l'ébranlement initial de la voiture;

b. L'établissement de la vitesse moyenne normale;

c. L'entretien de la vitesse moyenne normale.

On ne tiendra pas compte de la résistance de l'air, négligeable à la vitesse normale des tramways urbains.

a. Démarrage. — Le démarrage proprement dit exige un effort assez considérable, mais, en raison du peu de durée de cet effort, représente une dépense d'énergie insignifiante. On a pu remarquer que l'effort est d'autant plus considérable que la voiture est restée plus longtemps immobile.

La voiture une fois mise en mouvement, le frottement de roulement sur le rail devient beaucoup plus faible. Le démarrage proprement dit se réduit donc à un effort initial qui peut fatiguer ou détériorer le moteur s'il est trop brusque, mais qui ne correspond pas à une grande dépense d'énergie.

b. Établissement de la vitesse normale. — La voiture devant arriver à la vitesse v, il faut lui fournir d'abord la puissance vive correspondante, soit $\frac{1}{2}\frac{P}{g}v^2$; ensuite, l'énergie nécessaire pour compenser la perte due au frottement sur l'essieu pendant que la vitesse passe de zéro à v. D'après une formule connue, le frottement sur l'essieu est exprimée par $Pvf\frac{r}{R}$. Dans cette expression, je remplace v par $\frac{v}{2}$, parce que la vitesse n'atteint la valeur v qu'à la fin de la période et j'ai, pour la valeur totale de l'énergie nécessaire à l'établissement de la vitesse moyenne normale,

$$\frac{1}{2}P\frac{v^2}{g}+\frac{1}{2}Pvf\frac{r}{R}=\frac{1}{2}Pv\left(\frac{v}{g}+f\frac{r}{R}\right). \tag{1}$$

L'effort de traction par seconde dans cette période est égal à $\frac{P}{\theta_2}\left(\frac{v}{g}+f\frac{r}{R}\right)$, θ_2 étant le temps employé à l'établissement de la vitesse normale.

c. Entretien de la vitesse normale. — Si l'on ne tient pas compte de la résistance de l'air, la déperdition d'énergie due au frottement sur l'essieu est égale par seconde à $Pvf\frac{r}{R}$ (2).

Soient maintenant : N, le nombre des arrêts par heure; θ_1, la durée moyenne de ces arrêts; θ_2, le temps nécessaire pour rétablir la vitesse normale.

En une heure il faudra fournir

$$\frac{N}{2}Pv\left(\frac{v}{g}+f\frac{r}{R}\right)+Pvf\frac{r}{R}\left(3\,600-N(\theta_1+\theta_2)\right), \tag{2}$$

Effectuant les calculs, et divisant par 3600 pour avoir le nombre de kilogrammètres dépensés par seconde,

$$Pv\left[f\frac{r}{R}-\frac{N}{7\,200}\left((2(\theta_1+\theta_2)-1)f\frac{r}{R}-\frac{v}{g}\right)\right]. \tag{3}$$

En multipliant par 3600 et divisant par 360 000 (nombre approximatif de kilogrammètres correspondant au kilowat-heure), soit en divisant par 100, l'expression précédente, on a, pour le

nombre de kilowatts-heure

$$\frac{Pv}{100}\left[f\frac{r}{R}-\frac{N}{7200}\left((2(\theta_1+\theta_2)-1)f\frac{r}{R}-\frac{v}{g}\right)\right]. \tag{4}$$

Enfin, si l'on veut connaître le nombre de kilowatts-heure correspondant au kilomètre-voiture, il faut diviser l'expression (4) par $v\times 3{,}6$ qui représente le nombre de kilomètres parcourus en une heure. On arrive ainsi à l'expression

$$\frac{P}{360}\left(f\frac{r}{R}-\frac{N}{7200}\left((2(\theta_1+\theta_2)-1)f\frac{r}{R}-\frac{v}{g}\right)\right). \tag{5}$$

II. Cas ou la voiture est en rampe ascendante. — Soit α l'angle d'inclinaison de la voie sur l'horizon.

Je pose $f\frac{r}{R}=\mathrm{tg}\varphi$, φ étant ce qu'on peut appeler *l'angle du frottement de roulement sur l'essieu.*

En appliquant des formules connues, on arrive, pour la valeur de l'énergie à fournir dans ce cas, à l'expression

$$Pv\left[\frac{\sin(\varphi+\alpha)}{\cos\varphi}-\frac{N}{7200}\left(\frac{\sin(\varphi+\alpha)}{\cos\varphi}(2(\theta_1+\theta_2)-1)-\frac{v}{g}\right)\right]. \tag{6}$$

On obtiendrait, comme précédemment, le nombre de kilowatts-heure, et le rapport du nombre de kilowatts-heure correspondant au kilomètre-voiture dans ce cas.

Le rapport de l'énergie à fournir en montée à l'énergie à fournir en palier est égal à $\frac{\sin\varphi+\alpha}{\sin\varphi}$

III. Cas ou la voiture est en rampe descendante. — Au retour, les montées se changent en descentes, et l'accélération due à la pesanteur diminuée du frottement de roulement sur l'essieu est égale à

$$g.\frac{\sin(\alpha-\varphi)}{\cos\varphi}. \tag{7}$$

Trois cas sont à considérer :

1° — $\alpha>\varphi$. Dans ce cas la vitesse de la voiture va croissant et on est obligé de recourir au frein pour maintenir la vitesse normale.

2° — $\alpha=\varphi$. Dans ce cas, l'accélération due à la pesanteur diminuée du frottement est nulle. Pour obtenir et maintenir la vitesse normale, il faut donc fournir à la voiture une certaine quantité d'énergie plus faible qu'en palier.

3° — $\alpha<\varphi$. La variation de l'énergie à la descente et à la montée peut être considéré comme négligeable.

IV. Cas ou la voiture est en courbe de rayon ρ. — Dans une courbe, l'arc parcouru sur le rail extérieur est plus grand que l'arc parcouru sur le rail intérieur. Mais comme les roues sont calées deux à deux sur le même essieu, il s'ensuit un double glissement, savoir : 1° la roue extérieure glisse par la jante en avançant, la roue intérieure en reculant; 2° les roues extérieures et intérieures, appuyées latéralement contre le rail par la force centrifuge, glissent inégalement.

Le travail sur l'arc de glissement pour un angle α et un écartement d des rails est égal, pour le premier cas, à $\frac{P.}{4}f.d\alpha$ par essieu $=\frac{1}{2}P.fd.\frac{v}{\rho}$ pour les 4 roues.

Quant au travail du glissement latéral, on peut l'évaluer comme suit. Sa force centrifuge est égale à $\frac{P}{g}\frac{v^2}{\rho}$. L'arc de glissement $=\alpha d=\frac{v}{\rho}$, se partageant par moitié entre les 4 roues, soit $\frac{1}{2}\frac{P}{g}\frac{v^3}{\rho^2}$.

Le frottement total dû à la courbure peut donc être exprimé par $\frac{1}{2} Pfd \frac{v}{\rho}\left(1+\frac{v^2}{g\rho}\right)$ (8).

V. Arrêt en palier en ligne droite. — La voiture est animée d'une vitesse v. Sa puissance vive est $\frac{1}{2} . P \frac{v^2}{g}$ [1]. Le travail par seconde du frottement sur l'essieu est égal à $Pvf\frac{r}{R}$. Mais, dans l'arrêt, la vitesse passe de v à o. En appelant θ_3 la durée de l'arrêt on a donc $\frac{1}{2} P \frac{v^2}{g} = \frac{1}{2} v \theta_3 \times Pf\frac{r}{R}$; d'où $\theta_3 = \frac{v}{g.f\frac{r}{R}}$ (9). La durée de l'arrêt serait donc indépendante du poids de la voiture.

Si j'appelle x_1 la longueur sur laquelle s'opère cet arrêt, on a $x_1 = \frac{1}{2} v\theta_3 = \frac{1}{2} \frac{v^2}{gf\frac{r}{R}}$ (10).

Si les roues sont complètement bloquées par le frein, le temps θ_4 de l'arrêt est exprimé par $\theta_4 = \frac{v}{gf}$ et la longueur sur laquelle s'opère l'arrêt par $x_2 = \frac{v^2}{2gf}$ (12).

VI. Données numériques fournies par une expérience récente. — Dans cette expérience $P = 17\,000$ kg, $v = 3$ m : s, $g = 9{,}8$ m : s : s, $f = 0{,}25$, $\frac{r}{R} = 0{,}086$, $N = 30$, θ_1 durée *moyenne* de l'arrêt a été trouvée expérimentalement, sur plusieurs lignes, égale à 15 secondes; θ_2, durée de rétablissement de la vitesse normale, peut varier au gré du wattmann. Mais elle semble normalement devoir être prise entre 5 et 7 secondes, voici pourquoi :

L'énergie électrique en joules s'obtient en multipliant par g l'énergie dynamique. En appelant E la tension et I l'intensité, on a donc, d'après les formules (1, 2, 3, 4), première phase $EI = \frac{1}{2} Pvg\left(\frac{v}{g} + f\frac{r}{R}\right)$. En remplaçant par les chiffres ci-dessus, $EI = \frac{1}{2}\, 49\,500\, g\, [0{,}306 + 0{,}0215] = 79\,435{,}125$ watts en une seconde. En supposant la tension moyenne égale à 550 volts, l'intensité serait de 142 ampères. Deuxième phase $EI = Pvgf\frac{r}{R} = 445\,100 \times 0{,}0215 = 9\,567$, l'intensité serait alors $\frac{9567{,}5}{500} = 17$ ampères.

Il ne semble pas judicieux de faire ainsi varier l'intensité dans des limites aussi étendues. En prenant $\theta_2 = 5$, la variation se restreint entre 28 ampères et 14 ampères, ce qui est évidemment plus normal.

Dans l'expérience en question, le wattman a manœuvré comme à l'ordinaire.

Pour la consommation par heure, la formule donne 10,5 kilowatts-heure, l'expérience 10,47 kilowatts-heure

Pour le rapport du nombre de kilowatts-heure au kilomètre-voiture, la formule donne 0,976, l'expérience 0,8953.

La valeur de 0,25 attribuée à f peut donc être considérée comme trop forte. On prendra 0,2.

On donne ordinairement pour coefficient de frottement fer sur fer 0,13, mais il ne faut pas oublier :

1° Que l'emploi des boggies augmente la valeur du frottement dans une certaine proportion. On compte que les roues des boggies supportent environ $\frac{1}{5}$ du poids de la voiture. En effet, les rais des roues étant la moitié de ceux des grandes roues, on a, en appelant r, R, 2 R, les paramètres correspondants et f_2 le frottement résultant, $Pf_2\frac{r_1}{R_1} = Pf\frac{r}{R}\left(\frac{4}{5}+\frac{2}{5}\right) = Pf\frac{r}{R} \cdot \frac{6}{5}$, soit une augmentation de $\frac{1}{5}$.

2° Qu'il faut ajouter une nouvelle fraction pour tenir compte du frottement latéral de la jante dans le rail creux.

---

[1] Pour l'arrêt, il faut, dans les calculs, remplacer la vitesse moyenne par la vitesse *effective* au moment où le courant est interrompu.

On pourrait aussi vérifier (cela n'a pas été fait) l'exactitude de la valeur de f au moyen de l'arrêt. En appelant x_1 la longueur sur laquelle se fait l'arrêt, on aurait (10) $x_1 = \frac{1}{2}\frac{v^2}{g \times 0,086 f}$ d'où $f = \frac{v^2}{2g \times 0,086\, x_1}$.

En adoptant ces diverses données numériques on arrive :

1° pour le nombre de kilogrammètres par seconde à 700 kilogrammètres ;

2° pour le nombre de kilowatts-heure à 7,64 kilowatts-heure ;

3° pour le rapport du nombre de kilowatts-heure au kilomètre-voiture à 0,707.

Ces quantités étant prises à l'essieu, pour remonter à celles qui émanent de l'usine génératrice, en supposant d'une perte totale de 25 p. 100, on arrive respectivement à 1 018 kilogrammètres par seconde, soit 10,18 kilowatts-heure et au rapport 0,946 kilowatt-heure par kilomètre-voiture.

Ces divers chiffres ne paraissent pas très éloignés de la réalité.

Pour avoir les résultats correspondants en montée avec un angle α, il faut multiplier les précédents par $\frac{\sin \varphi + \alpha}{\sin \varphi}$. Pour une pente de 0,035, ce rapport est sensiblement égal à $\frac{0,035 + 0,017}{0,017} = 3$; l'énergie nécessaire est donc triplée si l'on veut conserver la même vitesse. Dans la descente, au retour, l'accélération due à la pesanteur, diminuée du frottement est égale à $\frac{0,035 - 0,17}{0,017} = \frac{18}{17}$. La somme totale de l'énergie dépensée à la montée et à la descente correspondante est, pour la pente maxima de 0,035, égale à la moitié de l'énergie à la montée. Pour les pentes ordinaires, cette somme se rapproche sensiblement de l'énergie consommée en palier pour une longueur égale.

En courbe de rayon ρ, il faut ajouter à l'énergie en palier une consommation égale à $\frac{1}{2} P.fd \frac{v}{\rho}\left(1 + \frac{v^2}{g\rho}\right)$. Si l'on suppose $d = 1$ m et $\rho = 100$ m, l'énergie additionnelle est égale à 45 kilogrammètres, en admettant que la vitesse reste la même, le terme en $\frac{v^2}{g\rho}$ devenant négligeable.

Pour les courbes de faible rayon, on diminue forcément la vitesse pour ne pas dérailler, et ces courbes ne se prolongent pas longtemps.

De ce qui précède, il semble résulter qu'à moins de pentes et de courbes exceptionnelles et exceptionnellement longues, on se fera une idée suffisamment exacte de la consommation d'énergie journalière, en adoptant la formule applicable au palier en ligne droite.

Arrêts. — Avec les données numériques ci-dessus, on obtiendrait pour la longueur sur laquelle s'opère l'arrêt

Sans faire usage du frein : $x_1 = \frac{v^2}{2gf\frac{r}{R}} = 27$ m.

En bloquant complètement les roues : $x_2 = \frac{v^2}{2gf} = 2,3$ m.

En freinant progressivement : $x_3 = \frac{x_1 + x_2}{2} = 14,45$ m.

Ces chiffres paraissent trop faibles et sont à vérifier, pour avoir la vraie valeur de f ; (v a été pris ici égal à la vitesse moyenne, voir la note plus haut.)

Remarque. — Il parait intéressant de remarquer que, dans la formule (3), le nombre des arrêts et démarrages correspondants exerce une très faible influence sur la dépense d'énergie tant que la parenthèse est positive, c'est-à-dire tant que la vitesse v est $\leqq 39 \frac{fr}{R}$. Il en serait tout autrement si la vitesse v était supérieure à cette limite. En adoptant les données numériques ci-dessus, cette limite prend la valeur 6,517 m : seconde correspondant à 23 km par heure. A cette vitesse, la résistance de l'air représente environ 9 kg par mètre carré et commence à avoir une influence appréciable.

Je résume, comme suit, en langage ordinaire, les principaux résultats précédemment établis. En admettant une vitesse moyenne de 3 m par seconde : I. On obtient le nombre de kilowatts dépensés par heure et par voiture vide ou pleine, en multipliant le poids de la voiture vide ou pleine par 0,0006 à l'essieu, par 0,0008 à l'usine ; II. Le rapport du nombre de kilowatts-heure correspondant à 1 km-voiture s'obtient en multipliant le poids de la voiture considérée par $\frac{0,02}{360} = 0,0006$; III. La durée consacrée à l'établissement de la vitesse moyenne doit être comprise entre 5 et 7 secondes. Pour une vitesse supérieure cette durée doit être augmentée.

(*A suivre.*)

Georges Guéroult.
Ancien élève de l'École Polytechnique.

LES ALTERNATEURS A L'EXPOSITION DE 1900 (1)

ALTERNATEURS HÉTÉROPOLAIRES A PÔLES SAILLANTS

ALTERNATEURS A INDUCTEURS PLEINS

Propriétés des alternateurs a inducteurs pleins. — La classe des alternateurs à pôles pleins, dont nous allons nous occuper tout d'abord, est actuellement de beaucoup la plus importante.

Les alternateurs à pôles pleins sont les premiers alternateurs à électro-aimants qui aient été faits ; ils ont été en effet un premier perfectionnement aux magnétos de l'Abbé Nollet et de la Compagnie l'Alliance, et il est intéressant de constater qu'après 30 ans de recherches, on en revienne au type d'inducteur primitivement adopté.

La cause de leur abandon avait été l'échauffement des pièces polaires par les courants de Foucault dûs au flux alternatif de réaction d'induit dans les machines à courants alternatifs simples.

L'introduction des courants polyphasés dans la pratique technique et l'emploi d'induits à pôles non saillants a rappelé l'attention des ingénieurs sur ce genre d'inducteurs particulièrement simple comme construction.

Dans les alternateurs actuels la principale propriété due à l'emploi des inducteurs pleins, en dehors de leur facilité de construction, est le rôle important qu'ils jouent dans le fonctionnement en parallèle par suite des courants induits dans leur masse pendant les oscillations pendulaires.

Ces courants donnent encore lieu, il est vrai, à un échauffement des masses polaires, mais cet échauffement est généralement assez peu élevé pour n'entraîner qu'une diminution peu sensible du rendement, surtout si le coefficient d'irrégularité de la machine est assez petit.

Nature du métal du circuit magnétique inducteur. — Le métal le plus généralement employé dans la construction des inducteurs pleins est l'acier.

La carcasse sur laquelle sont fixés les pôles peut être indifféremment en fonte ou en acier, mais le premier métal est naturellement préféré toutes les fois qu'une réduction de poids n'est pas nécessaire c'est-à-dire, par suite, dans tous les cas où les alternateurs sont accouplés directement aux moteurs à vapeur sans l'emploi d'un volant auxiliaire.

Dans ce dernier cas même, l'emploi de la fonte est plus souvent adopté que celui de l'acier à cause de la facilité de coulage de la première.

(1) Voir *L'Éclairage Électrique* du 23 novembre, p. 276.

Si l'on est revenu à l'emploi d'inducteurs pleins, les propriétés des alternateurs modernes sont néanmoins tout à fait différentes de celles des anciens alternateurs.

Le point primordial dans le calcul d'un alternateur à pôles pleins actuel est l'emploi de saturations assez élevées.

Il y a cependant plusieurs degrés dans la valeur des saturations.

L'emploi de très fortes saturations dans l'établissement des alternateurs, s'il réduit beaucoup la chute de tension, présente néanmoins quelques inconvénients assez graves.

Tout d'abord, il exige une connaissance très rigoureuse de la courbe de magnétisation du métal employé. Or cette courbe de magnétisation n'est pas toujours facile à obtenir exactement. Les aciers magnétiques d'un même constructeur ont généralement des courbes peu superposables suivant les pièces et les différences peuvent quelquefois entraîner l'emploi de courants d'excitation qui s'écartent beaucoup de ceux prévus.

En second lieu, il nécessite un calcul de machine d'une grande précision, non seulement en ce qui concerne les inducteurs, mais encore, et c'est là ce qui rend le calcul difficile, en ce qui concerne la dispersion de l'induit.

Les alternateurs à pôles très saturés peuvent, en outre, difficilement supporter une surcharge importante, ou fournir simplement leur charge normale, avec un facteur de puissance plus petit que celui qui a été prévu dans le calcul, même en consentant à une plus grande chute de tension.

En somme, les alternateurs à pôles très saturés n'ont pas, malgré leur avantage évidemment capital d'une faible chute de tension, l'élasticité de puissance des types d'alternateurs à saturation moyenne.

On pourrait objecter que la difficulté peut être tournée en prévoyant un facteur de puissance assez faible ; ce serait évidemment une bonne précaution qui a été prise, du reste, dans l'un des alternateurs exposés, mais en opérant ainsi, on est souvent conduit à employer des machines assez lourdes, et par suite coûteuses, pour la puissance vraie à produire.

L'emploi de saturations élevées est donc difficilement recommandable pour les alternateurs destinés au transport de l'énergie avec utilisation par moteurs d'induction.

Pour les réseaux d'éclairage, la chute de tension admissible étant toujours supérieure à celle tolérée aux bornes des lampes, il n'y a qu'un intérêt assez faible à avoir une chute de tension de 3 à 5 p. 100, par exemple, plutôt qu'une de 8 à 10 p. 100, puisqu'on est obligé dans les deux cas de modifier le courant d'excitation et généralement plus dans le premier que dans le second.

La solution la plus rationnelle pour les alternateurs à pôles pleins paraît donc être dans l'emploi de saturations modestes, de façon à avoir des caractéristiques pour lesquelles le point à vide est à peu près au milieu du genou qu'on a intérêt à peu prononcer en augmentant suffisamment l'entrefer, de façon à donner une prédominance aux ampèretours correspondant à cette partie du circuit magnétique.

Fixation des pôles. — Le procédé de fixation des pôles le plus employé est celui qui consiste à les retenir avec un ou plusieurs boulons traversant complètement la jante.

Les pôles ont généralement une partie encastrée dans la jante, tant pour assurer une rigidité mécanique suffisante que pour diminuer la résistance du joint fonte-acier lorsque la jante du volant, comme c'est le cas général, est en fonte.

Nature des perforations. — Pour des raisons faciles à comprendre, aucun des alternateurs à pôles pleins n'a d'induit à rainures ordinaires.

La plus grande partie a des encoches généralement peu ouvertes, de façon à diminuer la production des courants de Foucault dans les masses polaires.

Ces encoches sont le plus souvent rectangulaires avec angles arrondis; deux alternateurs seulement : celui de MM. Lahmeyer et Cie et celui de M. F. Krizik ont des encoches circulaires.

Les alternateurs à trous sont, cependant, assez nombreux et sortent de maisons dont le matériel est généralement très apprécié.

La forme des trous est rectangulaire avec parties arrondies près de l'entrefer ou aux deux extrémités de l'encoche.

Un alternateur, toutefois, a des trous dont la partie voisine de l'entrefer affecte la forme d'un angle assez obtus, c'est celui de la Société l'Eclairage Electrique (alternateur Labour de 1 200 kilovolts-ampères).

ALTERNATEURS A INDUCTEURS FEUILLETÉS.

Propriétés générales. — Les alternateurs à pôles inducteurs feuilletés ont été employés surtout avec les induits à pôles saillants. Le type classique de ces alternateurs fut celui du professeur Zipernowsky, dont il existe encore de nombreux exemplaires dans beaucoup de stations centrales du continent, et qui n'a été abandonné que dans ces dernières années.

Les induits à pôles continus avec rainures plus ou moins larges n'ont pu faire abandonner ce type d'inducteurs ; seuls, les alternateurs à trous ou à encoches plus ou moins fermées ont facilité la réadoption des inducteurs à pôles pleins, dont nous nous sommes occupés au chapitre précédent.

Toutefois, certains constructeurs ont conservé les pôles feuilletés, même avec des induits à encoches plus ou moins fermées.

Malgré la présence de nombreux alternateurs à pôles pleins à l'Exposition, nous ne pensons pas que leur emploi deviendra universel et remplacera celui des alternateurs à pôles feuilletés.

Les alternateurs à pôles feuilletés présentent bien quelques inconvénients, qui sont, du reste, facilement surmontables.

Tout d'abord, la réduction des courants de Foucault, si elle est poussée trop loin, peut nuire au bon fonctionnement en parallèle, par suite de la réduction de l'amortissement des effets pendulaires.

Le meilleur moyen d'éviter cet inconvénient est d'employer des circuits amortisseurs Leblanc, dont la résistance ohmique est toujours très faible, et qui donnent, par suite, à égalité de poids et avec une dépense beaucoup plus petite que dans les alternateurs à pôles pleins, un amortissement plus énergique des oscillations pendulaires.

Un second inconvénient est celui qui réside dans l'adoption des rainures au lieu d'encoches.

Les induits rainés ont l'avantage sérieux de permettre le bobinage sur gabarit, ce qui donne non seulement une plus grande sécurité dans l'isolation, mais diminue la main d'œuvre du bobinage.

Toutefois, l'emploi de rainures a pour effet de créer dans la force électromotrice induite des harmoniques toujours préjudiciables au bon fonctionnement des installations, lorsque la capacité des lignes a une importance assez grande, comme cela existe sur les réseaux à câbles concentriques ou sur les transmissions à très longues distances.

On peut diminuer considérablement les effets dus aux rainures par l'adoption des amortisseurs Leblanc qui s'opposent, en partie tout au moins, au passage de flux tournants non fixes par rapport à l'inducteur et en particulier de ceux dus aux harmoniques du courant.

Les amortisseurs Leblanc permettent encore ici de rendre possible l'emploi des rainures, car ils s'opposent au passage de tout flux non constant.

L'alternateur de l'Allgemeine Elektricitäts Gesellschaft est une des plus belles applications de cet ingénieux dispositif à ce dernier point de vue.

Un dernier inconvénient des pôles feuilletés, d'importance capitale au point de vue du prix de revient, est leur plus grande difficulté de construction, à cause du découpage des tôles. Cet inconvénient ne peut être atténué que par la construction des types en série ou par l'utilisation d'un même poinçon pour différents types.

A côté des inconvénients précédents, les alternateurs à pôles feuilletés présentent un avantage sérieux.

Au point de vue du calcul des alternateurs, en effet, l'emploi de pôles feuilletés est beaucoup plus commode que celui des pôles pleins.

La connaissance de la courbe de magnétisation est beaucoup plus facile à connaître avec exac-

titude, puisqu'elle peut être prise sur une série d'échantillons de tôles destinées à la machine à construire.

Malgré cette plus grande possibilité d'exactitude, des saturations assez élevées ont été très rarement employées jusqu'ici dans les alternateurs à pôles feuilletés, aussi ces alternateurs ont-ils toujours une chute de tension plus grande que les alternateurs à pôles pleins.

Comme conclusion, on peut dire que les succès obtenus par l'emploi des amortisseurs Leblanc, en France, par MM. Farcot et Cie (secteur des Champs-Élysées, secteur de la Société d'Éclairage et de Force, station centrale de Saumur, station centrale de Bourganeuf, etc.); en Allemagne, par l'Allgemeine Elektricitäts Gesellschaft (station centrale d'Obersprée et de Moabit, etc.). et en Amérique, par la Compagnie Westinghouse (usine de Manhattan), et la possibilité d'obtenir des chutes de tension analogues à celles des alternateurs à pôles pleins, permettent de supposer que le type d'alternateurs à pôles feuilletés avec amortisseurs est destiné à une extension considérable, et à éclipser le type à pôles pleins.

Il nous reste à donner quelques détails généraux de construction.

Fixation des pôles. — Le procédé de fixation des pôles le plus généralement adopté est celui de MM. Siemens et Halske, de Berlin, de la Compagnie de Fives-Lille, de la Compagnie française Thomson-Houston, de la Société Alsacienne, de Constructions Mécaniques, de M. Thury, etc., qui consiste en une barre prismatique s'engageant dans une partie évidée du noyau, et fixée à la jante par des vis la traversant complètement.

L'Allgemeine Elektricitäts Gesellschaft et les ateliers d'Oerlikon ont des procédés spéciaux.

Nature des perforations. — Les induits des alternateurs à pôles feuilletés sont généralement dentés, toutefois, certains constructeurs emploient avec ce genre de pôles, des induits à encoches plus ou moins fermées. Parmi les alternateurs exposés de ce type, il y a lieu de citer ceux de la Compagnie de Fives-Lille et de M. Thury.

ALTERNATEURS A ÉPANOUISSEMENTS FEUILLETÉS

PROPRIÉTÉS GÉNÉRALES. — Les alternateurs à épanouissements feuilletés n'étaient représentés à l'Exposition que par un seul type, celui de MM. Kolben et Cie, de Prague.

Cette classe d'alternateurs qui, il y a quatre ou cinq ans, a eu beaucoup de vogue avant la rentrée en lice des alternateurs à pôles pleins, est, à l'heure actuelle, à peu près abandonnée et est destinée à disparaître.

La nécessité d'employer des épanouissements feuilletés pour réduire la production des courants de Foucault est due à l'extension des induits à rainures rectangulaires, dont la propriété principale est, comme nous l'avons dit, de permettre le bobinage sur gabarit.

Toutefois, les épanouissements à pôles feuilletés ont été employés autrefois, même avec des induits à trous, par MM. Brown, Boveri et Cie.

Fixation des épanouissements polaires. — La principale difficulté dans la construction des alternateurs à pièces polaires lamellées réside dans la fixation des lamelles à l'extrémité des pôles.

Le procédé adopté par M. Kolben est celui qui consiste à ménager dans les tôles des queues d'aronde et à couler les pôles avec l'épanouissement en place.

Nous verrons plus loin, à propos des alternateurs à flux ondulé, d'autres procédés de fixation des pièces polaires feuilletées par clavettes à section trapézoïdale. Nous pouvons rappeler toutefois ici les dispositifs de MM. Brown, Boveri et Cie : rainures rectangulaires dans les épanouissements et fixation par boulons noyés mi-partie dans les tôles, mi-partie dans le noyau, et celui de MM. Ganz et Cie : coulage de zinc dans les encoches circulaires peu ouvertes, pratiquées dans les tôles et dans le noyau, etc.

****

ALTERNATEURS HÉTÉROPOLAIRES A POLES CONTINUS

ALTERNATEURS ASYNCHRONES COMPOUNDS

Généralités. — Les alternateurs exposés de ce groupe étaient tous du type asynchrone et compound. Le compoundage des alternateurs paraît devoir prendre dans l'avenir un développement du même genre que celui des dynamos à courant continu.

Le développement du transport de la force motrice par courants polyphasés nécessite, en effet, l'étude d'alternateurs capables de supporter les démarrages des moteurs sans éprouver de chutes de tension appréciables, non seulement parce que ces chutes de tension peuvent rendre impossible la distribution simultanée de l'énergie pour l'éclairage et la force motrice, mais aussi parce qu'elles peuvent se répercuter désagréablement sur les moteurs déjà en service.

De même qu'il serait impossible, à l'heure actuelle, de faire admettre qu'un réseau de traction peut être alimenté par des machines à courant continu en dérivation, de même, croyons-nous qu'on ne puisse plus concevoir, dans un délai plus ou moins éloigné, un transport d'énergie pour distribution de force motrice avec ou sans éclairage simultané, sans alternateurs avec dispositifs de compoundage.

Les dynamos shunt bien construites ont des chutes de tension de 5 p. 100 environ, tandis que les alternateurs les plus modernes atteignent près de 15 p. 100, le compoundage serait donc plus rationnel pour ceux-ci que pour celles-là.

Les applications des alternateurs compoundés sont encore peu nombreuses et se réduisent à des installations de puissance assez faible, mais qui permettent, toutefois, d'espérer dans un avenir peu éloigné une extension plus grande de ce genre de machines.

Différents genres d'alternateurs compounds. — Le compoundage peut être appliqué naturellement aux alternateurs ordinaires ; c'est ce qui a eu lieu dans les premières tentatives des inventeurs.

Toutefois, la possibilité de compounder les alternateurs a conduit les ingénieurs à créer des types de machines plus économiques, c'est-à-dire présentant une utilisation meilleure des matériaux, mais ayant, par contre, des conditions électriques qui les rendraient complètement impropres à tout service sans l'emploi d'un dispositif de compoundage.

Alternateurs asynchrones. — A la question du compoundage est venue se greffer celle de l'asynchronisme.

On sait que les moteurs asychrones, conduits par des moteurs primaires de façon à tourner à une vitesse supérieure à celle du synchronisme, deviennent des génératrices dont la charge dépend du taux de l'augmentatien de vitesse par rapport à celle correspondant au synchronisme.

Ces génératrices, dites asynchrones, comme les moteurs d'induction, empruntent les courants déwattés nécessaires à leur excitation au réseau qui, par suite, doit être alimenté également par une génératrice synchrone ou encore comprendre un moteur synchrone surexcité fonctionnant à vide ou comme appareil d'utilisation.

Les courants d'excitation ainsi fournis à l'alternateur ont donc la même fréquence que les courants d'utilisation.

Si l'on veut bien remarquer que, même avec de très faibles entrefers, les moteurs asynchrones absorbent des courants magnétisants égaux, au minimum, au quart ou au tiers des courants normaux, on voit que la génératrice ou le moteur synchrone nécessaires pour exciter un générateur asynchrone a beaucoup plus d'importance qu'une excitatrice ordinaire, puisqu'elle représente une machine d'une puissance égale, au moins, au quart ou au tiers de celle de la génératrice à exciter.

Comme, en somme, il importe peu que les flux inducteurs soient produits par l'un ou l'autre circuit, on conçoit facilement qu'on puisse exciter l'alternateur en envoyant dans son induit, au lieu de le fermer sur lui même, des courants de la fréquence du glissement.

Les connexions sont telles que le flux inducteur se déplace, en sens contraire du mouvement de l'alternateur avec la vitesse du glissement ; il a, par suite, par rapport à l'inducteur, une

vitesse relative égale à celle correspondant au synchronisme et induit, par suite, dans les circuits en communication avec le réseau, des courants de la fréquence voulue.

Cette idée ingénieuse, due à M. Maurice Leblanc et utilisée par plusieurs inventeurs, permet de ramener l'excitatrice à des proportions analogues à celles d'une excitatrice ordinaire.

Les alternateurs de ce genre conservent toutes les propriétés des alternateurs asynchrones à induit en court-circuit en même temps qu'ils en acquièrent d'autres, comme celle de pouvoir s'accoupler en série

Fonctionnant seuls, ils deviennent des alternateurs synchrones. Dans les deux cas, la chute de tension serait considérable, si le maintien d'une tension constante aux bornes n'était assuré par un compoundage spécial, car, par suite de la presque égalité des ampèretours sur les deux circuits, ils se comporteraient comme des machines à intensité constante.

Deux des alternateurs à compoundage exposés étaient du type asynchrone.

ALTERNATEURS A FLUX ONDULÉ

Propriétés générales. — Les alternateurs à flux ondulé, dont nous avons constaté l'abandon presque complet plus haut, auront été presque aussi vite abandonnés qu'ils ont été adoptés.

Entrés dans la pratique industrielle peu de temps après l'exposition de Francfort, les alternateurs à flux ondulé auront eu un peu plus de vogue que les alternateurs à bobine centrale et flux renversé qu'on a désignés sous le nom d'alternateurs du type Francfort.

Les alternateurs du type Francfort avaient surtout comme inconvénient d'exiger la rotation de la bobine inductrice. L'emploi d'alternateurs à flux ondulé permit bien de supprimer la mobilité du circuit inducteur, mais à part cet avantage donnant la possibilité d'admettre une vitesse tangentielle assez élevée, ce type d'alternateurs n'en conserva pas moins les inconvénients du type Francfort : fuites magnétiques exagérées, difficulté de remplacement du circuit inducteur, etc., et y en introduisit d'autres malheureusement très importants.

Notre intention n'est pas de refaire après tant d'autres le procès de ce genre de machines, nous devons signaler toutefois que deux inconvénients principaux ont contribué pour beaucoup à son abandon. C'est d'abord la différence d'attraction considérable exercée en cas d'entrefers inégaux, particularité très commune dans ces machines, par suite des inductions assez élevées et des entrefers très petits employés, puis la dissymétrie des courbes périodiques de tension.

Si l'on peut corriger plus ou moins en pratique ce dernier défaut par l'adoption d'un assez grand nombre d'encoches par paire de pôles ou par celui d'amortisseurs Leblanc agissant de façon à amoindrir les harmoniques de la courbe du courant, le premier reste avec tout son effet lorsqu'on veut profiter de la réduction des pertes d'excitation que peut procurer l'emploi des machines à flux ondulé.

La seule raison qui puisse militer en faveur des alternateurs à flux ondulé à grande vitesse angulaire est donc bien celle que nous avons signalée, c'est-à-dire l'emploi de vitesses tangentielles impossibles à obtenir avec les alternateurs à pôles séparés et qui permettent la commande des machines par turbines à vapeur ou hydrauliques.

Les alternateurs à flux ondulé présentent dans ce cas une grande supériorité sur les alternateurs à pôles séparés fixes, comme les alternateurs Parsons, par suite de la possibilité de laisser les enroulements induits fixes.

Dans les alternateurs à faible vitesse angulaire, destinés à être commandés directement par moteur à vapeur, le poids de la dynamo est en quelque sorte imposé par les conditions de régularité du moteur primaire. La question dans ce cas est donc un peu différente et les machines à flux ondulé ont pu rendre quelques services.

Les inconvénients que nous signalons plus haut sont, du reste, quelque peu amoindris dans ce cas.

En construisant des machines à flux ondulé pour lesquelles l'induction dans l'entrefer a la même valeur que dans les machines à pôles séparés, on a moins à craindre les effets d'attraction magnétique exagérés en cas d'entrefer dissymétrique.

Enfin, l'emploi des circuits amortisseurs ou d'un grand nombre d'encoches permet de réduire la dissymétrie des courbes périodiques de tension en charge.

Toutefois, ce genre de machine est d'un emploi forcément limité à quelques cas par commande à faible vitesse angulaire.

Types d'inducteur. — La forme d'inducteur la plus adoptée est celle à double circuit et à deux rangées de saillies polaires. Il est toutefois bon de signaler l'apparition d'un type à un seul induit et une seule série de saillies polaires avec pôles conséquents et créé par MM. Sautter, Harlé et Cie.

Fixation des pôles. — Les saillies polaires dans les machines à flux ondulé, comme les pôles séparés dans les alternateurs hétéropolaires, sont en métal plein, ou feuilletées ou avec épanouissements feuilletés.

Dans les alternateurs à saillies pleines ou à épanouissements feuilletés, celles-ci sont naturellement venues de fonte avec le moyeu.

Dans les alternateurs à saillies feuilletées, la fixation des pôles est généralement faite par des clavettes à section trapézoïdale et sur lesquelles sont empilées les tôles présentant des rainures de même forme. Les clavettes sont elles mêmes retenues à la jante par des boulons ou des vis la traversant complètement.

Pour les épanouissements polaires feuilletés, le procédé de fixation est analogue et un peu plus simple. De simples rainures à section trapézoïdale reçoivent des parties terminées en queue d'aronde ménagées sur les noyaux pleins suivant les cas.

Les bords des saillies ou des épanouissements sont toujours légèrement arrondis ou chanfreinés de façon à obtenir une répartition de flux plus ondulée.

Nature des encoches. — Le genre de perforation le plus adopté pour les induits dépend naturellement de la constitution des saillies. En général, les saillies et les épanouissements étant lamellés, ce sont de simples rainures rectangulaires, de façon à permettre la confection des bobines sur gabarit.

Les machines à saillies pleines comportent des encoches plus ou moins fermées ou de véritables pièces polaires induites avec épanouissements.

Un dispositif assez communément adopté consiste à employer des bobines induites recouvrant les deux induits à la fois; dans ce cas, les deux rangées de saillies polaires sont décalées entre elles d'un intervalle correspondant à la moitié de celui séparant deux saillies voisines.

C.-F. Guilbert.

GRANDS ALTERNATEURS [1]

II. — Observations critiques sur les alternateurs

Alternateur n° 1. — C'est, parmi les alternateurs d'une fréquence de 50 périodes, le plus puissant.

Les inducteurs sont lamellés et les pièces polaires munies de l'amortisseur Hutin-Leblanc. L'induit est caractérisé par le grand nombre d'encoches, 15 par pôle. Les encoches sont entièrement ouvertes et l'enroulement est à barres. Cette machine est, sans aucun doute, très bonne au point de vue électrique et mécanique, mais ces qualités sont obtenues par des moyens fort compliqués. Elle est très peu économique, étant sous presque tous les rapports dimensionnée trop amplement. Ainsi la constante de dispersion de l'induit est $1{,}76 . 10^{-3}$, la constante de réaction égale à 0,195 ; toutes les deux sont très petites, preuve que la machine est peu utilisée. Cela est

[1] Voir numéro précédent, page 327.

prouvé aussi par la faible saturation des inducteurs (16 300 induction maxima) et des dents (14 500). Le poids du cuivre induit est encore faible à cause du flux relativement fort. Pour le même motif la perte Joule dans le cuivre induit atteint seulement un quart (24 800 watts) environ, des pertes dans le fer (104 000 watts). La section du fil inducteur n'est pas indiquée dans les descriptions, mais d'après les autres données et le dessin j'ai pu la déterminer approximativement. Le poids du cuivre sur les inducteurs ainsi trouvé paraît, pour une génératrice d'une telle puissance, être assez élevé. En résumé on peut dire qu'en ajoutant un peu de cuivre dans l'induit on pourrait tirer de cette machine le double de sa puissance actuelle, c'est-à-dire 6 000 kilovolts-ampères. Le nombre d'encoches de 15 par pôle est excessif. Il est possible qu'il soit choisi pour éviter des pertes d'énergie trop grandes dans l'amortisseur. Ce dernier contient encore une grande masse de cuivre, dépense qu'on aurait pu éviter en employant des pôles solides. Il y a encore à remarquer que l'épanouissement polaire embrasse 75 p. 100 du pas et que l'échauffement en marche avec 3 000 kilovolts-ampères doit rester en-dessous des limites généralement admises. Quant à la partie mécanique, il est étonnant qu'on ait construit un alternateur si grand, sans croisillons (plaques avec bras) latéraux, construction qui aurait permis de réduire très notablement le poids du bâti de l'induit.

Alternateur n° 2. — Machine également trop grande, très peu saturée, à induit plutôt large, avec un diamètre relativement petit. Comme la précédente elle a des encoches ouvertes, et les inducteurs lamellés. L'enroulement de l'induit est fait également avec une barre par encoche seulement. Le nombre d'encoches est assez grand, 9 par pôle, soit 3 par pôle et phase. Cette génératrice est, pour sa puissance, extrêmement lourde. Ses dimensions sont relativement plus grandes et elle est encore moins utilisée que la première machine. Il est difficile à comprendre pourquoi on a choisi des inductions si petites comme 12 660 induction maxima dans les pôles et 9 500 dans les dents. A cause du petit diamètre et de la grande largeur d'induit la constante S atteint $4{,}55 . 10^{-3}$, et pour les mêmes raisons, le coefficient de la dispersion des inducteurs est égal à 1,59. Soit le flux de dispersion entre les pôles et pièces polaires atteint 59 p. 100 du flux utile.

La ventilation est obtenue d'une façon originale. Tandis que la plupart des constructeurs mettent les disques entre les tôles de l'induit, ici il y a un seul disque assez large (2 cm) au milieu de l'inducteur. L'entrefer est indiqué par les uns comme ayant 14 mm, d'après les autres il aurait 12 mm. J'ai adopté 12 comme plus probable.

Le fil d'excitation a une section de 4×23 mm, la même section qui est nécessaire d'après mon calcul pour l'excitation sous 210 volts. Néanmoins les excitations indiquées comme résultats d'essais ne s'accordent point avec celles que j'ai trouvées. Ces dernières sont d'environ 33 p. 100 plus grandes; l'excitation en court-circuit, d'après les chiffres indiqués, serait plus petite que celle qui correspond aux ampèretours de l'induit. Tout cela me fait supposer que les excitations indiquées contiennent quelque erreur. Il y a encore à remarquer que : la résistance de l'induit indiqué se comprend à froid et que par conséquent la perte dans le cuivre est de 14 000 watts au lieu de 11 800 watts indiquées.

La densité de courant dans l'induit ne dépasse pas 1,7. Elle est plus petite que dans la plupart des autres machines. Les pertes dans le fer sont quatre fois plus grandes que celles dans le cuivre, 67 500 watts contre 14 000. La constante de grandeur K est très élevée (900) pour la puissance de 2 000 kilovolts-ampères.

Alternateur n° 3. — Machine très originale.

Plusieurs des constantes que j'ai trouvées sont tellement contraires à la pratique générale qu'on est tenté de croire à une erreur dans les descriptions de cette génératrice. Ainsi l'induction magnétique dans le noyau de l'induit s'élève à 16 000, chiffre trois fois plus grand qu'on n'admet généralement ! L'enroulement induit est à courtes bobines, disposition qui n'est pas fort heureuse. En effet, elle augmente la dispersion de l'induit, la résistance et, par conséquent, la perte d'énergie dans le cuivre induit. Les bobines courtes ont encore l'inconvénient de produire

en charge, surtout en charge inductive, une autre répartition du flux qu'à vide. La chute de voltage s'en trouve augmentée. Je ne saurais pas nommer un seul avantage propre à cet enroulement. Comme une partie seulement du flux total provenant d'un pôle traverse une bobine de l'induit et qu'il est difficile de déterminer quelle partie la traverse en charge, j'ai compté avec 2/3 environ la proportion de la largeur de la bobine à l'épanouissement polaire.

Les ampèretours de l'induit et la constante S ont été calculés en conséquence. Les résultats d'essais sont indiqués d'une façon très différente dans les différents journaux. Ainsi on indique comme excitation à vide, à charge non-inductive, et à charge inductive avec cos $\varphi = 0,5$ les chiffres 100,5, 113 et 153 d'une part et, d'autre part, 105, 126 et 210, tandis qu'une troisième source donne 110 ampères comme excitation à pleine charge. D'après mon calcul, j'ai trouvé 105,5, 115 et 141 ampères. Ce dernier chiffre s'accorde bien avec le voltage (220 volts) de l'excitation, car 141 ampères $\times$ 1,6 Ω donnent 225 volts, tandis que 153 ou même 210 ampères n'iraient pas du tout. J'ai trouvé comme excitation en court-circuit 30 ampères contre 40 ampères indiqués, ce qui pourrait prouver la grande dispersion de l'induit dont je ne tiens pas compte spécialement. La perte dans le fer de l'induit indiquée à 27 000 watts et celle pour l'excitation, en marche non inductive, de 24 500 watts, sont encore invraisemblables. Je trouve 104 900 et 21 100. Le rendement est ainsi 89,4 p. 100 seulement et non 94,5 p. 100 à moins que toutes les descriptions de cette machine ne soient absolument fausses.

Les pôles ne sont pas fortement saturés, l'induction maxima étant de 16 000. La base des noyaux polaires est élargie pour diminuer l'induction dans le passage entre acier et fonte. Les électros sont très courts. Cela réduit la dispersion, le coefficient de dispersion étant de 1,275 malgré la grande largeur de la machine. Le fil inducteur est de section circulaire au diamètre de 8 mm, construction peu pratique au point de vue de l'économie de cuivre. En même temps l'isolement du fil rond peut facilement souffrir par les forces centrifuges et les trépidations de la marche.

Les encoches sont entièrement fermées et une des descriptions attribue à ce fait la forme de la caractéristique en court-circuit qui ne passe pas par le point d'origine. Il me semble que cela s'explique plus simplement par le magnétisme rémanent. La ventilation de l'induit est singulière en ce qu'elle s'opère par un seul disque de 6 cm d'épaisseur. Elle aurait été, sans aucun doute, plus efficace si au lieu d'un disque de 6 cm on avait mis plusieurs disques plus minces, d'autant plus que l'induit a 46 cm de largeur. Pour mieux ventiler l'induit, le constructeur a cru utile de monter les tôles de l'induit sur des pièces de distance en bronze, maintenant un certain écart entre la tôle et la carcasse en fonte. Je ne crois pas que ce dispositif soit suffisamment justifié, en vue de la complication et des frais qu'il entraîne. Les poids du cuivre et du fer sont très réduits dans cette machine et sous ce rapport elle est une des plus économiques, mais il paraît que cela est obtenu aux dépens du rendement, et il reste encore à savoir si l'induit ne chauffe pas trop.

L'entrefer a seulement 5 mm, trop peu pour un diamètre de 5,7 m. L'enroulement induit est fait avec du câble. L'embrassement polaire est assez grand, 0,76 du pas et les pièces polaires sont chanfreinées. La vitesse circonférentielle atteint seulement 23,6 m.

La densité du courant dans l'enroulement inducteur est une des plus élevées, elle est de 2,8 ampères par millimètre carré. Le reste des constantes ne présente rien de particulier.

Alternateur n° 4. — Cet alternateur s'approche peut-être le plus des qualités moyennes, il n'est ni trop léger ni trop lourd ; tout, saturation, densité, est modéré. Il n'est pas très économique, les dimensions sont plutôt grandes (la constante K est égale à 950) et le poids du fer aussi. Faible est la dispersion entre pôles (constante de dispersion = 1,25) et trop petite l'induction dans le noyau de l'induit (2,800 seulement). Les densités de courant sont de 2,7 dans l'induit et de 1,7 aux inducteurs. Elles sont plutôt inférieures à la moyenne.

Les sections des fils d'induit et des inducteurs ne sont pas indiquées, j'ai dû les calculer d'après les longueurs moyennes et les résistances connues. Les excitations que j'ai trouvées sont plus grandes que celles qu'indiquent les descriptions. A vide 143 contre 131, en court-circuit 57 contre 49 et en charge non inductive 160 contre 155 ampères. Les pertes dans le fer s'accordent

assez bien avec les résultats d'essais publiés. Dans les dents je trouve 11 650 watts contre 9 100 indiqués, dans le noyau 15 900 contre 13 100. Par contre, la perte pour l'excitation en charge inductive, indiquée à 13 800 watts, ne peut être juste, car pour 198 ampères avec une résistance de 0,25 Ω elle doit être de 9 900 watts.

Le rendement calculé atteint 95 p. 100. L'induit n'est pas ventilé par des disques permettant le passage de l'air. Contrairement aux trois génératrices précédentes, celle-ci a des pôles ronds et des encoches rondes, légèrement fendues. Les pôles ne sont pas encastrés dans le volant. Comme construction mécanique cette génératrice est une des meilleures, l'induit est construit avec deux plaques munies de bras, ce qui lui donne une grande rigidité sans trop de poids.

Alternateur n° 5. — Au point de vue de l'économie, cet alternateur ressemble beaucoup au précédent. Il y a un peu moins de cuivre par kilovolt-ampère : tours, mais par contre plus de fer. Le chiffre fer + 5 cuivre par kilovolt-ampère : tour est 2 320 contre 2 375 pour l'autre. Le poids du cuivre induit est très petit, effet dû à la grande densité de courant (4,4). Pour le même motif les encoches ont des dimensions très réduites, et les dents sont très peu saturées, l'induction maxima ne dépasse pas 9 000. La dispersion entre les pôles est excessive, le coefficient de dispersion étant de 1,74, le plus grand du tableau, à cause de l'embrassement trop grand des pièces polaires (0,8 du pas). Comme preuve que c'est bien là la cause de cette énorme dispersion, peut servir le fait que la dispersion entre pièces polaires est plus du triple de celle entre les noyaux.

Le noyau de l'induit est très peu saturé, l'induction étant de 3 220 seulement. Cela explique le poids relativement très considérable des tôles dans l'induit (7 200 kg). Les inducteurs sont lamellés, leur induction atteint 17 250. Ils ne sont pas encastrés dans le volant en fonte. La résistance de l'induit qui doit être de 0,0778 Ω contient probablement une erreur. Je trouve 0,121 Ω chiffre bien plus élevé, ce qui explique aussi la différence dans la perte ohmique de 16 000 watts contre 10 300 indiqués. L'excitation à vide indiquée à 54 ampères s'accorde bien avec les 53,2 ampères que je trouve. En court-circuit je trouve 19,3 ampères, tandis qu'on indique 15 seulement.

L'échauffement doit être plutôt trop petit et le rendement est assez bon, 94,2 p. 100.

Alternateur n° 6. — Machine beaucoup trop grande et trop lourde, ce sont là ses traits distinctifs. La constante K égale à 1360 est la plus grande du tableau, le poids « fer + 5 cuivre » est le plus grand parmi les génératrices de puissance semblable. Il n'y a que trois encoches par pôle ; elles sont entièrement ouvertes et assez étroites, de façon que les dents, assez larges sont peu saturées. Leur induction est de 9 000 environ. Les dimensions des encoches ne sont pas indiquées, et elles n'ont pu être exactement mesurées sur le dessin. Le fil induit n'est pas indiqué non plus. L'induit n'a pas de disques de ventilation, la surface refroidissante étant suffisante vu les dimensions trop grandes de l'alternateur. Les inducteurs présentent plusieurs points originaux mais pas très pratiques. Les pôles sont d'une longueur très grande, 35 cm, et portent des pièces polaires lamellées probablement à cause de l'entrefer très petit (5 mm). L'induction dans les noyaux ne dépasse pas 13 850 et l'embrassement des pièces polaires n'a que 0,56 du pas, soit 15,5 cm et non 16,5 comme on trouve dans les descriptions. L'enroulement de l'induit est fait sur gabarit, ce qu'il faut considérer comme avantage.

Il est difficile d'expliquer la différence, très grande, entre les excitations indiquées et celles fournies par mon calcul. Ainsi je trouve comme excitation à vide 57,5, en charge non inductive 62, et en charge inductive 75 ampères, tandis que les chiffres indiqués sont 98, 104 et 117 ampères. L'excitation en court-circuit, par contre, s'accorde parfaitement avec mon calcul.

Alternateur n° 7. — Cet alternateur est plus économique que la plupart des précédents. Le chiffre fer + 5 cuivre n'atteint pas la moitié de celui qu'a la machine précédente, 2 015 contre 4 060. Les dimensions de l'induit sont même des plus petites, la constante K étant de 513 seulement. Les encoches, au nombre de 3 par pôle, sont entièrement ouvertes et l'enroulement induit peut être fait sur gabarit. Les inducteurs sont lamellés, mais la section des pôles n'est malheureusement pas indiquée comme aussi les dimensions des encoches ne sont pas non plus connues

exactement. Par conséquent les chiffres du tableau donnant l'induction dans les dents et dans les pôles, les excitations, à l'exception toutefois de celle en court-circuit, doivent être considérées comme approximatives. L'embrassement polaire (0,51 du pas) est assez petit et l'entrefer de 4,5 mm seulement n'est pas suffisant pour une machine de cette puissance. Il aura été réduit à cette valeur à cause de l'induction très considérable dans l'entrefer (11 800) de beaucoup la plus grande du tableau. La surface intérieure (du côté de l'entrefer) de l'induit de cet alternateur est, au point de vue magnétique, la plus utilisée, la constante $\frac{\text{flux}}{\text{surface induit par pôle}}$ atteint son maximum de 5600.

Les pôles sont très fortement saturés, si leur section indiquée est juste. L'enroulement des inducteurs est fait en fil rond de 11 mm de diamètre ce qui n'est point recommandable. L'induit doit avoir une élévation de température assez considérable ou peut-être même trop grande. Il n'est pas pourvu de disques de ventilation. Les excitations que j'ai trouvées dans les différentes conditions de marche diffèrent de 20 p. 100 de celles indiquées comme résultats d'essais. Il est difficile d'expliquer cette différence pour l'excitation en court-circuit. Pour les autres conditions de marche cette différence pourrait provenir d'une erreur dans la section des pôles ; ou bien y aurait-il un autre nombre de spires par pôle ?

L'excitatrice donne 140 volts, 200 ampères, le voltage est donc trop grand, puisque même à 145 ampères il faut $145 . 0,7 = 102$ volts seulement.

D'après les résultats d'essais communiqués, le fer est très peu saturé, le voltage pouvant monter à 7 500 volts. Mais il est impossible de mettre cela d'accord avec le dessin de la machine.

La caractéristique à vide, que donnent les descriptions serait possible s'il y avait plus de 11 fils par encoche, mais alors l'excitation en court-circuit serait encore plus grande. Je ne puis m'expliquer tout cela qu'en supposant que les descriptions contiennent une ou plusieurs erreurs.

Les pertes dans le fer de l'induit sont indiquées à 30 kilowatts, la ventilation y comprise. Je trouve pour le fer 48 500 watts sans la ventilation, mais avec un fer très bon et des encoches non limées ce chiffre pourrait être considérablement réduit.

Les formes de la carcasse de l'induit de cette machine sont assez compliquées et son aspect est des moins réussis.

Alternateur n° 8. — La description de cette machine laisse beaucoup à désirer. Comme elle est décrite, elle est simplement impossible : j'ai, entre autres, trouvé une induction dans les pôles de 22 000. J'ai donc cherché d'élucider où se trouve l'erreur et je crois l'avoir trouvée dans la valeur de l'entrefer lequel, au lieu de 11 mm, suivant la description, n'a probablement que 5,5 mm., chiffre plus vraisemblable et qui donne pour l'excitation des résultats s'accordant assez bien avec les résultats d'essais. Toutefois, j'ai dû admettre encore que le diamètre des pôles de section circulaire n'est pas exactement 14 cm, mais à peu près, soit 14,3 cm ou 14,5 cm, car, ainsi seulement j'arrive à des inductions possibles. Les suppositions que j'ai dû faire sont faites un peu au hasard, mais ainsi du moins j'ai trouvé le moyen de tirer quelque chose des descriptions de cette génératrice, qu'autrement j'aurais été forcé d'abandonner. L'induction maxima dans les pôles, en supposant un diamètre de 14,3 cm est toujours encore très élevée (18900). L'excitation en charge inductive que je trouve ainsi est de 56,5 ampères, presque la même qui est indiquée comme résultat d'essai (57). En court-circuit je trouve 15,2 tandis que 15 est indiqué comme valeur calculée par le constructeur. A vide la différence est plus marquée, 36 ampères contre 43 d'après essai.

Les encoches sont très profondes et entièrement fermées. Il y a en trois par pôle seulement. Les dents sont peu saturées (12 500) et les pertes par hystérésis et courants de Foucault dans les dents sont considérables, 15 750 watts, contre 11 000 dans le noyau de l'induit. C'est la profondeur des encoches (55 mm.) qui, malgré la faible saturation des dents est la cause d'une perte un peu grande.

Le fil inducteur est de section carrée, section de beaucoup préférable au fil rond, à cause de l'économie, comme aussi pour des raisons d'ordre mécanique.

C'est la seule machine du tableau, ayant l'induit fixe, à l'intérieur et les inducteurs fixés au

volant et tournant autour de l'induit. Au point de vue de l'économie, cette génératrice correspond à peu près à la moyenne du tableau, comme les nos 2, 4 et 5. La vitesse circonférentielle dans l'entrefer atteint 23 mm seulement.

ALTERNATEUR n° 9. — Un peu plus économique que le précédent il a à peu près la même constante K (685 contre 665). Il a également 3 encoches par pôle et ces encoches sont aussi entièrement fermées et un peu trop profondes (65 mm). L'induction dans les dents est de 16 000. Les pôles sont assez longs (29 cm) et fortement saturés ($\mathfrak{B}_{max} = 18300$), les ampèretours nécessaires pour les pôles sont donc considérables. Les pôles légèrement encastrés sont montés dans un enfoncement du volant, ce qui n'est pas recommandable à cause de la dispersion qui s'en trouve renforcée. L'embrassement polaire est de 0,61 du pas et la vitesse circonférentielle est modérée, 24,5 m. Comme les encoches sont fermées, on a été obligé d'employer comme fil induit du câble, moins dur au bobinage à la main. Nous avons vu plus haut que l'emploi de câbles dans l'induit n'est pas économique. L'excitation en charge inductive, indiquée comme résultat d'essai est presque la même que j'ai trouvée, 122 contre 120 amp. A vide l'accord n'est pas si parfait. Je trouve 80,5 ampères contre 70 dans une description et 90 dans une autre. En court-circuit je trouve 29,2, tandis que l'essai aurait donné 38, différence difficile à expliquer si ce n'est par une erreur. La résistance de l'induit indiquée à 0,1 Ω doit plutôt être de 0,11 à chaud. Le premier chiffre sera peut-être mesuré à froid. Au point de vue de l'aspect de cette machine et de sa construction mécanique on peut dire la même chose que du n° 7.

ALTERNATEUR n° 10. — Une machine qui a plusieurs points originaux. Construction mécanique extrêmement légère, on pourrait dire trop légère. Au point de vue économique, elle n'est guère meilleure que la moyenne, la constante (fer + 5 × cuivre) étant de 2085. Les traits caractéristiques de l'induit sont : 3 encoches par pôle seulement, ces encoches étant peu profondes et légèrement fendues. Induction trop forte dans le noyau de l'induit (7 100) ; et trop faible dans les dents (9 100) ; enroulement en câble, densité de courant modérée. La constante de grandeur K est une des plus élevées (1 040), preuve que les dimensions électromagnétiques sont beaucoup trop grandes. Les inducteurs sont caractérisés par une saturation exagérée ($\mathfrak{B}_{max} = 18900$). Malgré cela les pôles ne sont pas encastrés dans le volant. Avec une induction pareille on ne peut plus être sûr de l'acier employé. Dans ce cas les ampèretours pour l'entrefer ont la même valeur que pour le reste du circuit magnétique. L'embrassement polaire est égal aux 3/4 du pas. L'enroulement sur les inducteurs est aussi en câble. C'est la seule machine bobinée ainsi. L'entrefer est assez élevé (8 mm), la vitesse circonférentielle plutôt faible (24 m). La chute de voltage est peut-être la plus réduite de toutes les machines, car la constante de réaction n'est que de 0,155, ce qui avec l'énorme saturation des pôles donne une chute plutôt trop petite pour une bonne marche en parallèle. D'après les essais, les pertes dans le fer ne dépasseraient pas 19 000 watts, tandis que je trouve 36 800. Le calcul du rendement paraît pourtant me donner raison, car ce dernier est d'accord avec les chiffres indiqués en pleine charge et à demi-charge : 93,6 p. 100 et 90,5 p. 100 chez moi contre 94 et 91 p. 100 indiqués.

Le poids du cuivre et les sections des deux fils, induit et inducteur, ne sont pas indiqués et les chiffres du tableau sont calculés en s'appuyant sur les longueurs moyennes et les résistances connues.

ALTERNATEURS nos 11 et 12. — Ces deux machines du même constructeur diffèrent peu. Elles ont le même induit, c'est-à-dire même diamètre et largeur et les mêmes encoches. Les inducteurs et leurs enroulements sont également identiques. Au point de vue de l'économie elles diffèrent un peu à cause de la vitesse plus grande de l'une des machines, les poids étant les mêmes pour les deux. Les chiffres fer + 5 cuivre sont 2 160 et 1 835 respectivement, ce dernier pour la génératrice marchant à 80 tours par minute (n° 12). La constante de grandeur K est assez grande (907 et 830). Le nombre d'encoches est normal, 6 par pôle, mais elles sont entièrement fermées par un isthme d'environ 2 mm. La constante S mesurant la dispersion de l'induit est

modérée ; elle doit tout naturellement être plus petite pour un induit à encoches fermées que dans le cas d'encoches ouvertes ou fendues. La constante de réaction est assez petite (0,2 et 0,156) surtout pour le n° 11. Les densités de courant dans l'induit sont des plus fortes, elles atteignent 4,2 et 4,6 ampères par mm². L'enroulement induit est en câble pour faciliter le bobinage dans les encoches fermées. Je n'ai pas pu savoir au juste si l'induit de ces machines contient des disques de ventilation. Il paraît qu'il y en a 5, mais les indications là-dessus sont assez vagues. S'il y a 5 disques, ils doivent être très minces (4 mm). La dispersion entre les pôles n'est pas considérable. Cela tient à ce que les pôles sont très courts et que les pièces polaires embrassent seulement la moitié du pas. L'induction dans les pôles est très élevée ($\mathfrak{B}_{max} = 18\,700$), ce qui avec la petite constante de réaction assure une chute de voltage insignifiante.

Les excitations que j'ai trouvées diffèrent beaucoup de celles indiquées comme résultats d'essais. Cela pourrait s'expliquer par la saturation exagérée des pôles. Avec des inductions si élevées on perd tout contrôle et on dépend trop de la qualité de l'acier et des moindres fautes de la fonderie. On ne doit plus s'étonner lorsque l'excitation n'est pas celle qu'on avait déterminée par le calcul. Les dents ont une saturation normale (16 100), le noyau de l'induit aussi (4 500 et 4 600). L'échauffement de l'induit doit rester en dessous des limites admises si réellement il es muni de 5 disques de ventilation. Les électros auront une élévation de température plus consit dérable, me semble-t-il, que l'induit.

Alternateur n° 13. — Le plus léger de tous, il a aussi les dimensions notablement plus petites que toutes les autres machines. La constante K, de beaucoup la plus petite du tableau, est de 343 seulement. Au point de vue de l'économie de la matière active, cette génératrice tient la seconde place, le chiffre fer + 5 cuivre est 1 338. Le poids du fer seul est le plus petit du tableau, tandis que celui du cuivre est un des plus réduits aussi. Mais, comme le poids total et les dimensions sont inférieures à tous les autres, le prix de revient sera probablement le plus avantageux. Indépendamment de cela le rendement est très élevé (94,5 p. 100) et comme les pertes dans le cuivre dépassent celles dans le fer le rendement à faible charge sera très bon aussi, contrairement à toutes les autres machines du tableau. Ces résultats favorables sont obtenus par une réduction au minimum des dimensions électriques. Ainsi, malgré une vitesse circonférentielle assez faible (24 mm), la largeur de l'induit est de 15 cm seulement, y compris une couronne de ventilation de 15 mm. Les dents sont très fortement saturées (19900) et les pôles ont une induction assez élevée (17 050) sans toutefois aller trop loin. La chute de voltage est très faible, malgré une constante S assez élevée ($6{,}0\ 10^3$) et une constante de réaction égale à 0,39. La dispersion entre les pôles atteint 50 p. 100 du flux utile, cela prouve la bonne utilisation du fer et provient de ce que la machine travaille avec un flux modéré. C'est précisément là la cause de la prépondérance des pertes dans le cuivre. En réduisant les pertes dans le fer on gagne non seulement sur le rendement à faible charge, mais encore on devient indépendant des qualités des tôles dans l'induit. Ainsi on peut être sûr que le rendement calculé sera atteint et qu'il ne sera pas à la merci de l'atelier et du soin avec lequel les tôles seront découpées et montées. L'entrefer est plus grand que dans la grande majorité des machines, avantage indiscutable au point de vue mécanique. L'enroulement induit est fait sur gabarit et essayé à un voltage très élevé (le triple environ du voltage normal). Les mêmes tôles et les mêmes encoches servent pour tous les voltages, jusqu'à 10 000 volts. Il y a à remarquer que les pôles devaient avoir, d'après la spécification de l'auteur (car c'est l'auteur qui a étudié cette génératrice) un diamètre de 13,2 cm et une induction maxima de 18 000. La fonderie les a coulés avec un diamètre de 13,5 cm, petite différence qui suffit pour réduire à 17 000 l'induction dans les pôles.

L'excitation à vide calculée par l'auteur diffère de celle qu'on indique comme résultat d'essai. Je trouve 123 contre 110 ampères indiqués. Mais l'excitation de 160 ampères en pleine charge $\cos \varphi = 0{,}85$, soi-disant calculée d'après ma méthode n'est pas juste. Il ne faut pas prendre les ampère-tours à vide avec ceux en court-circuit, mais les ampèretours sans réaction ce qui donne un résultat différent et une excitation plus forte. D'après l'expérience de l'auteur, le poids du cuivre peut être réduit d'environ 200 kg sans diminution du rendement et d'autant peut être réduit le poids du fer. Si on

consentait à un entrefer de 7 mm seulement, toujours encore supérieur à celui de la plupart des machines, on pourrait gagner 400 kg sur le cuivre et tout autant sur le fer.

Alternateur n° 14. — Cette machine est digne d'être étudiée. car c'est la plus économique de toutes. Elle est une des plus puissantes et marche à 72 tours seulement, la vitesse la plus réduite du tableau. Le poids du fer est un peu plus grand que dans l'alternateur précédent (13 p. 100 en plus) mais il contient par contre moins de cuivre. Le chiffre fer + 5 cuivre est 1 027 contre 1 338 pour le n° 13. Cette différence s'explique en partie par la plus grande puissance, le chiffre kilovolt-ampèretours étant de 19,45 contre 12 seulement. La construction de cette machine est très bonne et ne contient rien d'extravagant. Les inductions sont normales partout ; le nombre d'encoches est de 6 par pôle et leurs dimensions sont bien choisies : 21×55 mm avec une fente de 9 mm environ. La vitesse circonférentielle est de 25 m. Seul l'entrefer laisse un peu à désirer ; il n'a que 6 mm. Les pièces polaires sont chanfreinées et embrassent deux tiers du pas. 12 encoches sont laissées vides pour éviter le bobinage après montage à l'endroit du joint des deux moitiés de l'induit. Les densités du courant sont assez fortes, 4,1 dans l'induit et 2,52 dans les inducteurs. L'enroulement induit est en câble et se fait à la main. L'induit est monté en triangle.

Les excitations calculées s'accordent bien avec les résultats d'essai, sauf pour la charge inductive où je trouve 189 ampères contre 230 indiqués. Cette différence pouvait provenir d'une qualité inférieure de l'acier des pôles. La constante de réaction est de 0,289 et celle de dispersion de l'induit $S = 4.10^{-3}$. Le coefficient de dispersion entre les pôles est assez faible (1,26).

Alternateurs n° 15 et 16. — Ces deux alternateurs ressemblent beaucoup au précédent et sont construits d'après les mêmes principes. Ils sont cependant moins économiques, surtout le n° 16. Le chiffre « fer + 5 cuivre » qui était de 1 027 seulement est ici de 1 525 et de 2 127 même. Ils se distinguent de la plupart des machines du tableau par une vitesse angulaire plus grande (125 tours par minute). La constante K est de 505 pour la première et 600 pour la seconde. La constante S est la même pour les deux ($3,0.10^{-3}$). L'enroulement induit est en câble et la densité de courant est très élevée (4,8) pour les deux machines. Elles ont toutes les deux des pôles ronds encastrés et des pièces polaires chanfreinées embrassant environ deux tiers du pas. L'entrefer est de 6 mm, les encoches et leurs nombres sont les mêmes, comme du reste tout l'induit est presque identique dans les deux cas, seule la fréquence et le nombre de pôles étant différents.

La première des deux (n° 15) est la plus économique. Les électros sont fortement saturés ($\mathfrak{B}_{max} = 18600$) et les dents ont la plus forte induction du tableau (20 700). La densité de courant dans l'inducteur est très forte (2,85). Les excitations ne sont pas d'accord. Je trouve 138 à vide et 51,5 en court-circuit, tandis qu'on indique 120 et 48. En pleine charge inductive, l'accord est presque parfait, 195 contre 200 ampères.

La seconde machine (n° 16) présente la particularité d'avoir des pôles coniques, plus minces à la base, ce qui n'est point justifié. Le contraire serait plus logique. Cette machine est beaucoup moins utilisée que l'autre. Les inductions dans les pôles sont trop faibles ($\mathfrak{B}_{max} = 14300$ seulement), et les dents sont également peu saturées ($\mathfrak{B}_{max} = 13500$). L'excitation, d'après un calcul, à vide, est la même qui est indiquée, 85,5 contre 86, en court-circuit il y a déjà une différence, 56 contre 48, qui en pleine charge inductive est assez considérable : je trouve 137 contre 180 ampères indiqués.

Les trois dernières machines (n°s 14, 15 et 16) peuvent servir comme exemple de ce que peut faire une étude soignée d'une génératrice. Elles se ressemblent beaucoup et sont construites sur les mêmes principes fondamentaux. Néanmoins la différence au point de vue économique est énorme, le n° 16 contenant deux fois plus de matière active que le n° 14.

Alternateur n° 17. — Cet alternateur est du même constructeur que les n°s 11 et 12, mais comme il est de puissance notablement inférieure je l'ai placé dans le groupe des petits alternateurs.

La puissance en monophasé est de 350 kilovolts-ampères, ce qui correspondrait à 450 ou 500

kilovolts-ampères en triphasé. En comparant le rendement et l'économie de cette machine, il ne faut pas oublier qu'une génératrice monophasée est naturellement moins bonne. Elle aura à peu près les mêmes qualités qu'une génératrice triphasée marchant à 80 p. 100 de sa charge normale. Le facteur « fer + 5 cuivre » est par conséquent, comme aussi à cause de la faible puissance, assez grand, 3710. La constante K est de 975, chiffre relativement plus avantageux que celui des deux autres génératrices du même constructeur. L'induit a une denture spéciale adaptée pour fonctionner en monophasé. Il y a deux encoches par pôle, l'embrassement des bobines d'induit, qui ne s'entre-croisent pas, étant inférieur au pas des pôles. Entre deux bobines, il y a ainsi une dent inactive. Cette disposition n'est pas très pratique, comme elle donne lieu à une dispersion de l'induit plus forte. Une denture normale, comme pour l'enroulement triphasé et utilisant seulement deux tiers des encoches m'aurait paru plus pratique. L'enroulement induit est en câble et la densité de courant est très grande, 5,2, de beaucoup la plus grande du tableau. La forme des encoches, entièrement fermées, toute la disposition des pôles et pièces polaires est la même que dans les deux génératrices antérieures du même constructeur. Ainsi l'embrassement polaire est de 0,5 du pas, les pôles ont une section ovale. Ils sont fortement saturés ($\mathfrak{B}_{max} = 17\,900$) les dents très peu (8500 environ) vu leur forme spéciale. La constante S est assez élevée, $5{,}75 \cdot 10^{-3}$. Les excitations calculées ne sont point d'accord avec la description de la machine. Je trouve à vide 28 contre 40 indiqués, en court-circuit 13,2 contre 12 et en charge non inductive 33,2 contre 45. La différence assez notable à vide et en pleine charge ne saurait être expliquée qu'en supposant une erreur dans la description ou un acier de qualité inférieure. Une erreur est possible dans la section des pôles, car les descriptions ne sont pas bien d'accord là-dessus. On indique 208 cm^2 dans une description et 10×19 cm^2 dans une autre. J'ai adopté 190 cm^2 comme le plus probable. Les pôles sont munis, en dessous de la pièce polaire, d'un fort anneau en bronze dont la destination aura sans doute été d'éviter les vibrations du flux. Comme nous l'avons vu dans l'introduction, ce dispositif est absolument inutile. L'échauffement de l'induit sera insignifiant à cause de la bonne ventilation, obtenue par cinq disques répartis entre les tôles, donnant une surface refroidissante relativement grande.

Alternateur n° 18. — La puissance de 220 kilovolts-ampères est une des plus petites du tableau.

Les dimensions et les poids sont beaucoup trop grands pour cette puissance. La constante K est de 980, et le chiffre fer + 5 cuivre, qui atteint 5560, prouve que c'est la moins économique entre les machines du tableau. C'est surtout au poids du cuivre exagéré qu'est dû ce résultat. Elle contient en effet 830 kg de cuivre par kilovolt-ampères : tours, chiffre de beaucoup supérieur à tous les autres. On pourra bien se rendre compte de la grande masse de cuivre (1 650 kg) que contient cette génératrice par le fait que l'alternateur n° 15, d'une puissance de 1 200 kilovolts-ampères à 125 tours par minute, n'en a que 1 390 kg.

Tout est trop largement proportionné dans cette machine, la densité de courant est de 1,7 dans l'induit, et de 1,53 dans les inducteurs. L'entrefer a 10 mm, et la constante de réaction est de 0,149, la plus réduite du tableau. L'induction dans les pôles est très élevée ($B_{max} = 18\,900$), exagérée même, ce qui, avec le grand entrefer, explique la petite constante de réaction. La chute de voltage sera donc très faible, sinon trop petite pour une bonne marche en parallèle. Les pôles de section circulaire sont un peu trop longs et le coefficient de dispersion entre les pôles est de 1,43. Le voltage de l'excitatrice a été choisi très bas (30 volts) pour permettre l'emploi d'une bande enroulée sur champ comme fil inducteur. D'après mon calcul, 30 volts ne suffisent pas en pleine charge comme 196,5 ampères et 0,165 Ω donnent 32,5 volts. L'enroulement induit est en barres de 300 mm^2, divisées en deux pour éviter l'augmentation de la résistance. L'induction dans les dents est de 11 300 seulement et celle dans le noyau d'induit de 3 700. L'induit ne contient pas de disques de ventilation, mais, malgré cela, il ne chauffera pas à cause des dimensions très larges.

Alternateur n° 19. — La vitesse angulaire de cette machine est beaucoup plus grande que celle

de toutes les autres (250 tours par minute). Sa puissance est une des plus petites, on ne peut donc pas la comparer directement avec les autres machines du tableau. La constante K est très grande (1 140), et au point de vue de l'économie cette machine n'est guère plus favorable que la précédente, le chiffre « fer + 5 cuivre » étant de 5 420.

L'induit est très large (50 cm) et muni de deux disques de ventilation. La partie lamellée es en tôle de 0,7 mm d'épaisseur. Les tôles sont donc plus fortes qu'à l'ordinaire et doivent donner lieu à des pertes plus grandes par courants de Foucault. L'embrassement polaire est de 0,48 seulement du pas. Un embrassement si petit a comme conséquence une induction plus grande dans les dents et une augmentation des pertes dans les dents. Il vaut mieux employer un embrassement plus grand, ce qui permet de diminuer les pertes et d'augmenter l'entrefer, surtout que celui-ci est en effet trop petit et n'a que 4 mm. Les encoches, au nombre de 6 par pôle, sont peu profondes (23 mm) et sont légèrement fendues. Les pôles sont bien saturés, l'induction maxima étant de 18 100. Ils sont coulés en une pièce avec la couronne les reliant, et les pièces polaires sont rapportées. Les excitations trouvées par l'auteur diffèrent notablement de celles indiquées dans la description. Je trouve à vide 35 contre 27, en charge inductive 47 contre 42. Seulement, en court-circuit, elles sont bien d'accord.

Le coefficient de dispersion entre les pôles est de 1,21 seulement. La résistance de l'induit, indiquée à 0,027, se comprend à froid, j'ai donc adopté 0,0324 à chaud.

Les densités sont assez élevées, 3,68 dans l'induit et 2,54 dans les inducteurs. Le fil inducteur est en bande sur champ; cette bande est très mince, elle n'a que 1,1 mm d'épaisseur sur 17 mm de largeur. Les pertes dans le fer sont quatre fois plus grandes que celles dans le cuivre de l'induit et le rendement à faible charge ne sera pas très élevé. Les autres constantes de cette machine sont normales.

Alternateur n° 20. — C'est une machine de faible puissance, marchant à 64 alternances (32 périodes) par seconde seulement. Par suite, la vitesse circonférentielle est très faible (16,8 m) et le nombre de pôles est petit relativement. Les encoches, rondes, au nombre de trois par pôle, ont une fente de 8 mm. L'induit n'est pas muni de disques de ventilation. Les pôles ronds sont un peu trop longs et sont pourvus de pièces polaires embrassant 0,57 du pas. La constante K est de 1 000, chiffre élevé, et, au point de vue de l'économie, la machine n'est pas favorable non plus. La constante « fer + 5 cuivre » est de 4 700; elle est un peu inférieure à celle des deux dernières machines.

Dans la description de cette génératrice, il doit y avoir une erreur, car, telle qu'elle est décrite, elle aurait à 220 volts une induction dans les pôles de 60 000. Je n'ai pas à insister que c'est bien une preuve de l'existence d'une erreur, probablement dans le nombre ou dans le groupement des fils de l'induit. Au lieu de 16 groupes en parallèle, comme dit la description, il y en a probablement quatre seulement, ce qui donne des résultats possibles et même raisonnables. C'est avec ce chiffre que le calcul a été fait. L'entrefer avait, d'après la description, 8 mm, tandis que le dessin indique 5 mm, et c'est cette valeur qui est la plus probable et que j'ai introduite dans mon calcul. La résistance de l'enroulement induit, indiquée à 0,00324 Ω ne peut pas être juste non plus, car avec 16 groupes en parallèle, elle serait de 0,0031, valeur dix fois moindre, En supposant quatre parties groupées en quantité, je trouve 0,0049 Ω à chaud. Les inductions qui résultent de cette supposition sont 18 300, induction maxima dans les pôles et 15 000 dans les dents, 4 550 dans le noyau de l'induit, soit partout des inductions normales qui paraissent confirmer le groupement en quatre parties parallèles. La constante $S = 3{,}24 . 10^{-3}$ est normale aussi et la même chose peut être dite de la constante de réaction qui est de 0,25. La description donne seulement l'excitation de 92 ampères en charge inductive, tandis que je trouve dans ces conditions 135 ampères. Les 92 ampères indiqués ne sont pas, toutefois, empruntés à un essai, mais c'est d'après le calcul que le constructeur indique ce chiffre. Cependant les pertes dans l'excitation sont indiquées à 3 200 watts, ce qui donnerait comme excitation 121 ampères, chiffre se rapprochant du mien.

Malgré la grande longueur des pôles, la dispersion est très faible, effet dû à la petite fréquence.

Au point de vue mécanique, il y a à observer que l'induit, malgré le petit diamètre est, tout inutilement, muni de plaques latérales avec bras.

ALTERNATEUR N° 21. — Le plus puissant du tableau, cet alternateur est un des trois qui marchent à 25 périodes. Il est construit pour alimenter des convertisseurs d'un grand réseau de tramways.

Il doit pouvoir livrer pendant quelques heures jusqu'à 7 500 kilovolts-ampères à 11 000 volts, et se distingue par sa construction extrêmement lourde et ses grandes dimensions. La constante K est en effet de 750, preuve que la machine est de deux fois à deux fois et demie trop grande. Une autre preuve que le diamètre est exagéré nous est livrée par la constante S qui n'atteint pas même $0,6.10^{-3}$, chiffre de beaucoup inférieur à tous les autres compris dans le tableau. La vitesse circonférentielle est aussi très élevée (38,5 m) jusqu'à nécessiter une construction toute spéciale de l'inducteur, en vue de tenir tête aux forces centrifuges énormes, occasionnées par une telle vitesse.

L'induit est pourvu d'un grand nombre d'encoches, 12 par pôle, probablement pour éviter que les pertes d'énergie dans les plaques en bronze reliant les pôles ne deviennent trop considérables. Les pôles, lamellés et ventilés comme l'induit par six disques de ventilation, sont très courts ; ils laissent entre eux une sorte d'encoche, de façon que pour l'enroulement inducteur il reste relativement peu de place. Il n'y a pas de pièces polaires proprement dites, les pôles n'ayant aucun épanouissement. Toutefois, l'embrassement polaire est de 0,75 du pas. L'enroulement inducteur, qui consiste en une bande enroulée sur champ, peut être enlevé après démontage des plaques en bronze servant d'amortisseur. Les encoches, de proportions relativement petites, sont à demi-fermées. La constante de réaction est, malgré la destination de la machine pour un service de convertisseurs, assez réduite (0,258). Les inductions ne sont pas élevées, sauf dans le noyau d'induit où l'induction atteint 11 800. Les póles ont une induction maxima de 11 500, dans les dents elle est de 14 700 environ.

Les renseignements sur les enroulements induit et inducteur ne sont pas complets. On n'indique que le nombre de fils par encoche et le courant nécessaire pour l'excitation. J'ai tâché de déterminer approximativement la section du fil inducteur d'après l'excitation connue, la longueur moyenne et la place occupée par l'enroulement empruntées au dessin.

Le poids du cuivre inducteur ainsi obtenu, comme aussi celui du cuivre induit estimé simplement, doivent être considérés comme approximatifs seulement.

En vue de sa grande puissance, cet alternateur n'est pas économique, la constante « fer + 5 cuivre » étant de 1 592 environ. Un alternateur de 5 000 kilovolts-ampère pourrait être construit avec une constante de 700 ou 800.

A cause de l'induction élevée dans le noyau de l'induit je trouve une perte d'énergie très grande dans le fer (plus de 5 p. 100 du débit) et un rendement de 93,2 p. 100 seulement. Il est probable cependant que les pertes dans le fer sont plus petites. Pour arriver à un rendement de 96,5 il faudrait, toutefois, qu'elles restent en dessous de 2 p. 100, ce qui ne me paraît guère possible. Au point de vue mécanique cette machine est d'une construction extrêmement solide, mais n'aurait-il pas été préférable de donner à l'induit la même solidité à l'aide de plaques latérales ? On aurait gagné ainsi peut-être la moitié du poids de fonte.

ALTERNATEUR N° 22. — Cette machine, marchant à 25 périodes, n'est pas économique non plus. La constante fer + 5 cuivre est de 2 350, la constante K est aussi trop grande (K = 658) le diamètre surtout étant trop grand pour cette faible fréquence. La vitesse circonférentielle est de 21,2 m. Les pôles sont lamellés, avec des épanouissements aux deux bouts. Celui qui forme la pièce polaire embrasse 65 p. 100 du pas, soit 2/3 à peu près. Les pôles ne sont pas suffisamment saturés, l'induction maxima étant de 13 900. Aussi avec une induction si faible l'épanouissement du pôle à la base n'est-il point nécessaire. Les encoches au nombre de 6 par pôle sont entière-

ment ouvertes. Les dents ont une induction maxima de 11 300, celle dans le noyau de l'induit étant de 8 450. L'enroulement induit en bande de cuivre est fait sur gabarit. Les bobines inductrices sont également en bande enroulée sur plat en deux parties superposées.

Deux spires sur les 48 par bobine sont mises en court-circuit, il reste donc 46 spires actives. Les descriptions ne sont pas bien d'accord sur l'enroulement de l'induit. On cite d'une part 10 fils par encoche avec une section du fil de $50 \times 1,2$ mm, d'autre part on indique une section de 25×3 mm et 9 fils par encoche. J'ai adopté ces dernières proportions comme plus probables et allant bien avec la résistance de l'induit et le poids du cuivre. Les excitations indiquées diffèrent de celles que je trouve. Ainsi à vide on indique 140, contre 168 d'après mon calcul, en charge non inductive 155 contre 190 et sur $\cos \varphi = 0,9$ 200 contre 220. Cette différence pourrait s'expliquer en adoptant 10 fils par encoche au lieu de 9, mais l'excitation en court-circuit de 58 ampères (d'après l'autre source même 52 ampères) s'y oppose, car avec 9 fils je trouve déjà 77,5 ampères. Avec 10 fils la différence augmenterait encore. Or tout cela me fait supposer qu'il y a une erreur dans le nombre de spires par bobine inductrice. En effet, en supposant 56 au lieu de 46 spires actives on aurait comme excitation 138, 156, 181 ampères respectivement et 63,5 ampères en court-circuit, chiffres qui s'accordent beaucoup mieux avec la description. Cette hypothèse paraît encore être confirmée par la résistance de l'enroulement inducteur, indiquée à 0,39 Ω tandis qu'avec 46 spires je trouve 0,326 seulement. Avec 56 spires je trouve en effet 0,397 Ω. Les pertes dans le fer seraient d'après la description de 14 400 volts, valeur très invraisemblable, car d'après mon calcul elles doivent atteindre environ 50 000 watts, soit 3 1/2 fois autant. Je crois qu'avec le meilleur fer il est impossible d'arriver à une perte aussi réduite. La constance S est assez petite ($1,96.10^{-3}$) et la constante de réaction, égale à 0,33 est plus grande que la moyenne. Les densités de courant sont de 1,87 dans l'induit et de 1,7 dans les inducteurs.

Alternateur n° 23. — La seule machine du tableau qui n'est pas construite en alternateur-volant. Par conséquent le diamètre de l'inducteur a pu être choisi relativement petit, comme il convient pour une génératrice marchant à 25 périodes. La vitesse circonférentielle est donc de 14 m seulement. Les dimensions de la machine sont des plus réduites, puisque la constante K n'est que de 375. La constante S atteint $4,3.10^{-3}$, chiffre assez élevé, et la constante de réaction est de 0,313. L'induit, muni de 6 disques de ventilation a 3 encoches par pôle. Les encoches sont entièrement ouvertes et très profondes (81 mm). L'enroulement induit est en bande dont la section n'est pas bien déterminée. D'après les uns la section serait de $5,8 \times 12,2$ mm, soit 71 mm², tandis qu'une autre source indique 55 mm² comme section du fil induit. J'ai adopté ce dernier chiffre qui s'accorde mieux avec la résistance de l'induit et avec la perte ohmique dans le cuivre induit. La résistance serait d'après la description de 0,34 Ω à froid, soit à chaud 0,41 Ω, ce qui donne comme perte ohmique 13 600 watts, contre 13 700 indiqués. L'entrefer est de 7 mm, tandis que l'entrefer équivalent est d'environ 9 mm à cause des pièces polaires chanfreinées.

Les pôles et pièces polaires sont lamellés, et l'embrassement des pièces polaires est d'environ 2/3 du pas. Les pôles sont fortement saturés, l'induction maxima étant de 17 900. L'induction dans les dents est de 15 000 et celle dans le noyau de l'induit de 8 400. La densité de courant est de 1,92 pour l'induit et de 1,85 dans les bobines inductrices. Les excitations sont : à vide d'après mon calcul 120 contre 110 ampères indiqués, en charge non inductive 136 contre 126 et en court-circuit 54,7 contre 57. La différence en charge non inductive et à vide pourrait s'expliquer en supposant que j'ai mal estimé l'entrefer équivalent et les ampères-tours nécessaires pour l'entrefer; il pourrait s'y ajouter encore une différence dans la qualité du fer. Ainsi on peut facilement arriver à une différence d'environ 8 p. 100. Les pertes dans le fer seraient d'après mon calcul de 33 400 watts, mais cela en supposant une tôle de 0,5 mm d'épaisseur. Comme les chiffres que je trouve pour les pertes dans le fer sont des valeurs maxima et qu'en général elles seront plutôt moins élevées il est bien possible que dans cette machine, faite avec des tôles de 0,35 mm, les pertes en question n'atteignent que 19 700 watts, comme l'indique la description.

Au point de vue économique, cette génératrice n'est pas avantageuse, malgré ses petites

dimensions. La constante Fer + 5 cuivre est, en effet de 2 420, elle est donc supérieure à la moyenne.

Conclusions. — Je n'ai considéré dans ce travail qu'un nombre assez restreint d'alternateurs. Toutefois les 23 machines du tableau contiennent des représentants de tous les types, de toutes les puissances et fréquences courantes. Elles sont originaires de tous les pays industriels, à l'exclusion de la Grande-Bretagne. Le pays le mieux représenté est la France avec 7 machines. L'Autriche-Hongrie en a 5, l'Allemagne 4, la Belgique 3 et la Suisse 2.

En jetant un coup d'œil général sur le tableau on verra que les constantes qui varient le moins sont la constante de réaction et celle de la dispersion d'induit S. Ces deux constantes sont en effet les seules qui ne dépendent ni de la puissance ni de la vitesse angulaire et doivent être choisies uniquement selon la destination de l'alternateur.

On voit que les constructeurs sont d'accord aujourd'hui sur l'importance et l'influence de ces deux facteurs. Aussi au point de vue des qualités électriques, comme avant tout la chute de voltage, les alternateurs modernes présentent-ils, contrairement à ce qui se passait encore il y a quelques années, une certaine uniformité, résultat de l'expérience acquise.

Ceci n'est point le cas, cependant, au point de vue de l'économie dans la construction. Sous ce rapport il n'y a pas d'uniformité et le tableau montre ce qui reste encore à faire. Il montre ce qui peut être atteint par une étude soigneuse et une construction pratique, basées sur l'expérience. Aussi voit-on que là où ces conditions ne sont pas remplies, ou que manque l'expérience les machines contiennent deux et trois fois plus de matière première qu'il est nécessaire. Quoique l'acheteur préfère à prix et rendement égaux, une machine moins économique, contenant plus de cuivre, de fer, etc., ce n'est pourtant pas par un moyen pareil que le constructeur voudra faire apprécier ses machines. Il dévra au contraire toujours tendre à réduire au minimum le prix de revient des machines et tâcher d'assurer une supériorité à ses produits par leurs bonnes qualités. Sur cette voie il sera, heureusement, secondé par la loi générale qu'une dynamo bien proportionnée a un rendement d'autant plus grand que ses dimensions sont plus petites et qu'elle contient moins de matière active.

Alexandre Rothert.
Ingénieur à Riga.

REVUE INDUSTRIELLE ET SCIENTIFIQUE

GÉNÉRATION ET DISTRIBUTION

Nouvelle presse Bliss à découper les encoches de tôles circulaires.

Presque tous les systèmes actuels de machines à découper les encoches comportent des *plaques de division* qu'un cliquet actionné par des leviers à mouvement de va-et-vient fait avancer d'un cran à chaque coup de la presse. Les machines de ce genre demandent un plateau diviseur pour chaque division et des réglages plus ou moins longs et délicats pour l'excentrique, les leviers et le cliquet afin de les mettre d'accord avec le nombre de dents et les dimensions des disques.

Dans la machine « Bliss », il suffit, pour changer le nombre de divisions, d'introduire une autre *roue de rechange*, de la même façon que dans les machines à fraiser les engrenages et dans les tours. La même roue de rechange sert pour plusieurs divisions en l'employant en combinaison avec l'une ou l'autre des roues intermédiaires fournies avec la machine ; par exemple, la roue de rechange ayant 96 dents permet d'obtenir les divisions suivantes : 48, 64, 96, 128, 192, 256, 384, 768. Cette possibilité d'effectuer plusieurs divisions avec une même roue de rechange, et le coût peu élevé de chaque roue de ce genre donnent lieu, relativement aux machines ayant besoin de plateaux de divi-

sion, à une économie qui représente plus que la valeur de la machine, s'il s'agit d'une série un peu considérable de divisions. La mise de ces roues est très simple ; de plus, l'ouvrier n'a pas à se préoccuper du diamètre de la tôle à découper : une roue convenant pour tel nombre d'échancrures, le choix en est fait immédiatement, sans calcul, à l'aide d'une référence.

La figure ci-contre représente une de ces machines à découper.

La division est effectuée par la roue K qui possède 8 encoches G écartées de 45 degrés. A chaque coup de poinçon cette roue avance d'un huitième de tour et communique ce mouvement, au moyen de l'arbre F et d'engrenages d'angles, à l'arbre principal de division L.

Le cadre triangulaire A actionné par l'excentrique B, exécute, à chaque coup de la presse, un mouvement articulé autour des arbres C et D. Pendant la partie supérieure de son mouve-

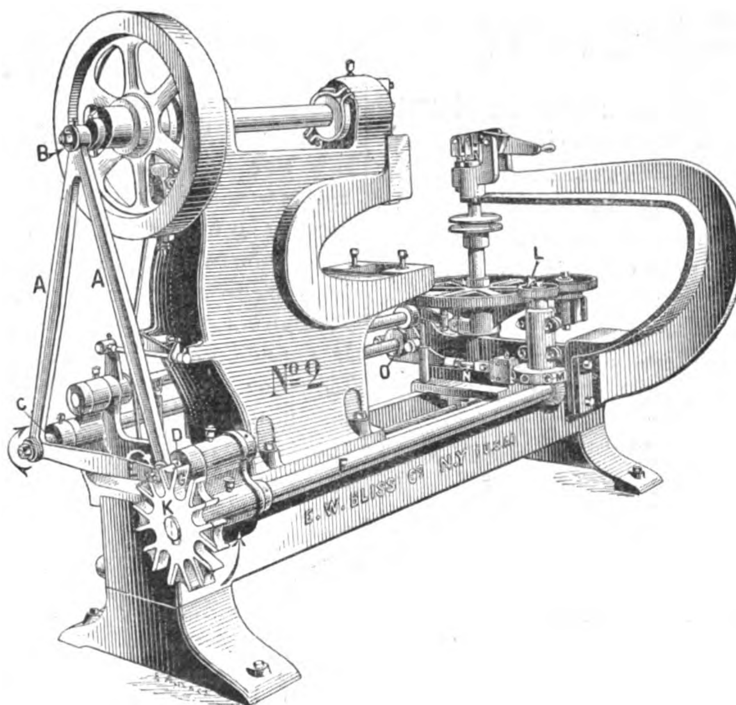


Fig. 1. — Presse Bliss à découper les encoches de tôles.

ment le galet E, attaché au cadre A et conduit de cette façon dans une voie circulaire, abandonne la roue K pour entrer dans l'encoche G et faire ensuite, pendant la partie inférieure de sa voie circulaire, avancer cette roue K d'un huitième de tour. En sortant de l'encoche, au moment où va se produire l'arrêt de l'arbre F, le mouvement du galet E devient presque parallèle avec la direction de l'encoche. De cette façon est supprimée toute tendance d'élan de la roue K ou de l'arbre F au-delà de sa position correcte tout en assurant un mouvement très doux et rapide. A l'entrée du galet E dans l'encoche voisine G, sa voie coïncide encore avec la direction de cette encoche, de façon à effectuer un avancement exempt de toute secousse.

Au moment où le galet E abandonne le contact de la roue K, le goujon N actionné par la came O entre dans une des 8 douilles M de la couronne attachée à la partie inférieure de l'arbre principal de division L et tient cet arbre de division sous verrou pendant tout le temps que s'opère le poinçonnage. Comme le bout de ce goujon est conique et que les douilles M sont évasées à leur entrée, l'arbre L reprend sa position correcte, même dans le cas où l'usure ou un accident quelconque auraient causé une fausse position. Le goujon N aussi bien que les douilles M sont des pièces rondes en acier trempé et rectifié, ce qui assure une grande précision; il n'est besoin de les remplacer dans le cas d'usure qu'après plusieurs années d'em-

ploi, et cette opération est des plus simples.

L'expérience a démontré qu'avec cette disposition il est possible de travailler à une vitesse double environ de celle que l'on a pu atteindre avec les machines dont la division se produit par des mouvements de va-et-vient, plus ou moins violents, de leviers et de cliquets. Cet avantage résulte de la façon spéciale dont s'accomplissent l'entrée et la sortie du galet d'avancement E par rapport aux encoches de la roue K, supprimant tout élan et secousse, et de l'action du verrou N qui tient l'arbre de division L dans une position absolument immobile et correcte pendant le travail.

Une douille excentrée sur l'arbre de division permet, par un mouvement très simple, de supprimer le jeu provenant de l'usure des dents des engrenages, dans le sens du mouvement, de façon à éliminer également la possibilité du manque de précision produit par cette cause.

Un arrêt automatique suspend la marche à la dernière crénelure ; aussi, malgré la rapidité du fonctionnement, est-il possible pour un ouvrier ordinaire de conduire à la fois deux ou trois machines.

Un appareil spécial permet d'utiliser cette même presse pour découper les encoches de *segments*, en employant le même système d'avancement par roues de rechange.

Sur le calcul de la flèche des conducteurs aeriens.

Dans une traduction, publiée dans le numéro de ce journal du 12 octobre (p. XXI), d'un article de M. Thornton sur « la construction et la protection des lignes aériennes de transmission et de distribution », se trouvaient (p. XXIII) quelques formules pour le calcul de la flèche des conducteurs. Un de nos lecteurs, M. Böhm Raffay, de Vienne, nous fait savoir que ces formules sont inexactes, aussi bien d'ailleurs dans le mémoire original que dans la traduction qui en a été donnée ici.

On doit avoir :	au lieu de :
$d = \frac{L^2W}{8T}$,	$d = \frac{L^2W}{ST}$;
$L' = L + \frac{8d^2}{3L}$,	$L' = \frac{L + 8d^2}{3L}$;
$d = \sqrt{\frac{3L(L'-L)}{8}}$,	$d = \sqrt{3L(L'-L)}$.

Nous remercions vivement M. Böhm Raffay de nous avoir signalé ces erreurs et nous avoir donné en même temps les formules rectifiées.

Résistance électrique des substances isolantes, par **Baur**, *Electrician*, t. XLVII, p. 758, 6 sept. 1901.

Dans un article paru dans *London Electrician*, l'auteur présente une formule empirique qui lui a servi à évaluer la différence de potentiel qui, appliquée à un câble sous plomb, entre deux conducteurs voisins, ou entre un conducteur et l'enveloppe en plomb, suffit à déterminer la rupture des isolants.

La loi dont cette formule est l'expression établit que tout diélectrique, quelle que soit son épaisseur, exige pour se rompre sous l'effort du courant, une certaine différence de potentiel qui est proportionnelle à la puissance deux tiers de l'épaisseur du diélectrique. En d'autre termes, cette différence de potentiel en volts est égale à la racine cubique du carré de l'épaisseur du diélectrique, exprimée en millimètres, multipliée par un coefficient qui est constant pour chaque substance isolante. Cette constante, qui n'est autre que la différence de potentiel nécessaire pour rompre une épaisseur d'un millimètre du diélectrique, est appelée « résistance électrique à la rupture ».

L'auteur indique les valeurs ci-dessous pour les résistances électriques à la rupture de différentes substances isolantes :

Jute imprégné	2 200	volts.
Calicot	2 200	»
Air sec	3 300	»
Caoutchouc des Indes vulcanisé, de bonne qualité	10 000	»
Toile Empire (Empire cloth)	12 500	»
Bois plein	19 000	»
Mica	58 000	»

D'après les valeurs indiquées ci-dessus, on trouve que, en général, cette formule empirique donne des résultats correspondant, avec une approximation d'environ 5 p. 100, à ceux obtenus par des mesures directes ; mais il y a des cas où les différences entre les valeurs mesurées et les valeurs calculées sont plus grandes, ce qui se produit en particulier pour le bois plein.

G. Roesch.

MAGNÉTISME

Éléments du magnétisme terrestre à Potsdam, pour l'année 1900, par **M. Eschenhagen**. *Dr. Ann.*, t. VI, 424-427, oct. 1901.

Les valeurs moyennes de ces éléments, déduites des observations horaires enregistrées par la photographie, sont les suivantes :

	1900.	Variation de 1899 à 1900.
Déclinaison	9° 56,3′ O.	— 4,4′
Intensité horizontale. . .	0,18844 C.G.S.	+ 0,00026
Intensité verticale. . . .	0,43466 »	+ 0,00074
Inclinaison	66° 33,7′ N.	+ 0,4′
Intensité totale	0,47375 C.G.S.	+ 0,00078

Des orages magnétiques de quelque durée et d'intensité notable se sont produits le 18 janvier, le 4 février, les 8, 9 et 13 mars, le 5 mai.

M. L.

Conservation des aimants étalons dans des boîtes de fer, par **I. Klemencic**, *Dr. Ann.*, t. VI, 174-181, sept. 1901.

Les aimants sont placés dans un tube de verre fermé par un bouchon de liège et ce tube lui-même enfermé dans une boîte de fer dont les parois sont garnies d'une couche épaisse de papier à filtre et le fond d'un tampon de coton. Ces boîtes sont formées par du tube à gaz avec des fonds vissés : l'épaisseur des parois est de 2 ou 3 mm. Dans les premiers jours, on constate une influence de la boîte sur le moment magnétique de l'aimant : cette influence diminue ensuite ou croît légèrement suivant les aimants : puis le moment reste enfin constant pendant des mois.

Le papier et le coton protègent suffisamment l'aimant contre les chocs, car on ne constate pas de variation appréciable du moment quand on a fait tomber la boîte d'une hauteur de 1 m sur une table de marbre. Mais la boîte ne forme écran magnétique contre les actions extérieures que d'une manière très imparfaite, si l'intensité du champ extérieur dépasse quelques unités.

M. L.

Contribution à l'étude de l'aimantation (1re partie) : ***sur les effets résiduels de la trempe***, par **I. Klemencic**. *Dr. Ann.* t. VI, 181-191, sept. 1901.

La diminution du moment magnétique d'un barreau trempé est d'autant plus petite que le temps écoulé entre l'aimantation et la trempe est plus grand. Dans une première approximation la diminution relative (en p. 100 par exemple du moment primitif) est toujours la même pour un intervalle de temps déterminé, si on compte ce temps non pas à partir de l'instant où s'est produite l'aimantation, mais à partir de l'instant où a eu lieu la trempe. Il semble donc que les effets résiduels de la trempe ne sont pas sensiblement modifiés par l'aimantation.

Ces effets résiduels de la trempe sont dus probablement à des déplacements moléculaires qui se produisent d'une manière continue d'abord rapidement, puis plus lentement et troublent l'orientation des éléments magnétiques.

L'importance de ces effets résiduels varie avec le rapport de la longueur du barreau à sa largeur : plus ce rapport est grand, plus la diminution du moment est grande. Mais il est peu probable que les effets de la trempe dépendent des dimensions du barreau et ce phénomène traduit sans doute plutôt l'effet de l'action démagnétisante.

Il est difficile de comparer les effets résiduels de la trempe sur différentes sortes d'aciers ; il serait indispensable que ces aciers fussent trempés dans les mêmes conditions : ces effets commencent à se faire sentir quand la température de trempe atteint la température nécessaire pour la fabrication des aimants permanents.

On peut accélérer la marche des effets résiduels de la trempe en recuisant les barreaux à 100° : ce recuit provoque une diminution du moment magnétique qui atteint jusqu'aux 2/3 de la valeur primitive.

De toutes ces observations, il ressort que l'acier trempé, dans les premiers instants qui suivent la trempe, n'est pas en équilibre moléculaire stable : et il est fort possible que cet état influe encore sur d'autres propriétés physiques du métal, la conductibilité électrique, par exemple.

M. L.

Variation avec la température de la susceptibilité de quelques dissolutions des sels du groupe du fer, en particulier du chlorure ferrique, par **H. Mosler**. *Dr. Ann.*, t. VI, p. 84-96, septembre 1901.

Les dissolutions sont renfermées dans une ampoule de verre suspendue à un bifilaire et qu'on fait osciller devant le pôle d'un électro-aimant (méthode de Wiedemann). Un perfectionnement de la méthode primitive consiste à

faire le vide dans l'enceinte qui entoure l'ampoule afin d'éviter les courants de convection pendant le chauffage.

Les mesures ont porté sur les dissolutions dans l'eau du chlorure et de l'azotate ferriques, des sulfates de nickel, de manganèse, de cobalt. Sauf pour le chlorure ferrique, les variations du coefficient de température avec la concentration ne dépasse pas l'ordre de grandeur des erreurs d'expérience. Le coefficient de température du chlorure ferrique présente un maximum pour une concentration d'environ 33 p. 100. Les autres propriétés de la dissolution, conductibilité moléculaire, abaissement du point de congélation ne présentent pas de variation qui réponde à ce maximum.

Les valeurs trouvées pour les coefficients de température s'accordent avec celles qu'ont données Jäger et Meyer. M. L.

Phénomènes thermomagnétiques et thermoélectriques dans le bismuth cristallisé, par **L. Lownds**. *Dr. Ann.* t. VI, 146-163, septembre 1901 [1].

L'auteur a déterminé l'effet longitudinal et transversal thermomagnétiques dans une lame de bismuth taillée dans un seul cristal, l'axe cristallographique se trouvant parallèle au plan des grandes faces.

Pour l'effet longitudinal, le flux calorifique était parallèle à l'axe principal ou bien perpendiculaire : dans ce dernier cas, les lignes de force du champ étaient perpendiculaires au flux : l'effet transversal ne peut être observé non plus que dans ces deux conditions : les mesures ne sont pas réalisables quand le flux est parallèle aux lignes de force magnétique.

Les courbes ayant pour abcisse l'intensité du champ et pour ordonnée l'effet longitudinal ont la même allure que dans le cas du bismuth électrolytique : cependant il faut atteindre des températures plus élevées pour avoir des valeurs négatives. Lorsque le flux calorifique et les lignes de force magnétique sont perpendiculaires à l'axe cristallographique, on n'observe de valeurs positives de l'effet longitudinal qu'à haute température et pour de très faibles intensités du champ.

L'effet transversal est plus petit, quand le flux calorifique est parallèle à l'axe cristallographique que s'il lui est perpendiculaire : il est négatif dans le premier cas pour une température moyenne de 73°, comme l'ont trouvé van Everdingen et Yamaguchi. Ce dernier a trouvé aussi que dans le bismuth électrolytique l'effet transversal croît toujours quand la température diminue : dans le bismuth cristallisé, si le champ est intense et la température très basse, l'effet décroît quand la température s'abaisse.

La température d'inversion du couple cuivre-bismuth cristallisé calculée d'après une formule parabolique :

$$e = \alpha (t_1 - t_2) + \beta (t_1^2 - t_2^2)$$

est — 185° 8 pour la force électromotrice e mesurée dans la direction de l'axe cristallographique, — 80°,9 pour la force mesurée dans la direction perpendiculaire : mais il ne semble pas que la formule puisse être employée jusqu'à des températures aussi basses.

Le rapport entre les deux forces électromotrices mesurées dans ces deux directions perpendiculaires pour les températures $t_1 = + 100°$ et $t_2 = + 10°$ est environ 2. M. L.

[1] Cf. *Éclairage Électrique*, t. XXIX. p. 142, 26 octobre 1901.

Influence de l'aimantation sur le module d'élasticité ; par **K. Tangl**. *Dr. Ann.*, t. VI, p. 34-64, oct. 1901.

Le fil dont on veut mesurer la variation d'élasticité est attaché verticalement à la partie inférieure d'une suspension bifilaire. A l'aide de ce bifilaire, on détermine d'une part l'allongement du fil produit par l'aimantation, d'autre part la force qu'il faut appliquer au fil pour le ramener à sa longueur primitive. Connaissant ces deux éléments, on en déduit le module d'élasticité.

Le module d'élasticité du nickel augmente par l'aimantation ; celui du fer augmente d'abord et atteint un maximum dans un champ de 286 C.G.S; ni le fer ni le nickel n'éprouvent de variation permanente de leur longueur.

Lorsque le fil est chargé, les phénomènes obtenus avec le fer changent d'allure ; au lieu du maximum, on observe un minimum du module, correspondant à peu près à la même valeur du champ. Si on diminue la charge, l'influence de cette charge sur le module devient plus petite : il y a donc lieu de croire que la déformation résiduelle joue un rôle important dans le phénomène. Cette déformation résiduelle semble exercer une influence encore plus grande sur le

nickel que sur le fer : suivant la charge, on observe tantôt un minimum, tantôt un maximum du module. M. L.

DIVERS

Analogie entre les propriétés électriques du corps incandescent de Nernst, et celles des gaz conducteurs, par **H. Kaufmann**. *Dr. Ann.*, t. V, p. 757-772, août 1901.

Dans un mémoire précédent, l'auteur a montré qu'on peut déduire toutes les propriétés électrodynamiques des gaz conducteurs d'une courbe empirique $E = f(I)$, E désignant la différence de potentiel entre les extrémités de la colonne gazeuse, I l'intensité du courant. En particulier, la condition pour qu'un régime stable puisse se produire, s'exprime par l'inégalité

$$R > -\frac{dE}{dI},$$

où R est la résistance totale du circuit, comprenant la résistance du gaz et celle des conducteurs extérieurs. Ces résultats s'obtiennent sans faire appel à aucune hypothèse sur le mécanisme intime de la décharge : ils doivent donc être valables pour un conducteur solide qui partage avec le gaz les propriétés suivantes : ne laisser passer le courant que sous une différence de potentiel supérieure à une certaine limite, présenter un maximum de chute de potentiel correspondant à un minimum de l'intensité, être traversé par des décharges intermittentes.

Un certain nombre d'oxydes métalliques et de composés analogues possèdent ces propriétés ; parmi eux se trouvent en particulier ceux que Nernst a employés à la fabrication de sa lampe à incandescence. Déjà MM. Burnie et Ch. A. Lee ont signalé l'analogie entre ces conducteurs et les gaz, en autres choses que la dérivée $\frac{dE}{dI}$ est négative dans les deux cas.

M. Kaufmann a effectué des mesures sur un filament de Nernst à trois températures différentes 397°5, 366°5, 348°5. Les courbes $E = f(I)$ obtenues dans ces trois séries sont reproduites sur la figure 1. Soit E_0 la force électromotrice de la batterie d'accumulateurs employée comme source de courant, E la différence de potentiel entre les extrémités du filament, on a

$$R = \frac{E_0 - E}{I},$$

et, par suite, la condition de stabilité peut s'écrire :

$$\frac{E_0 - E}{I} > -\frac{dE}{dI},$$

et elle s'interprête facilement sur le diagramme. On joint par une droite le point de l'axe des ordonnées, dont l'ordonnée est E_0 à un point de la courbe : le régime représenté par ce point est

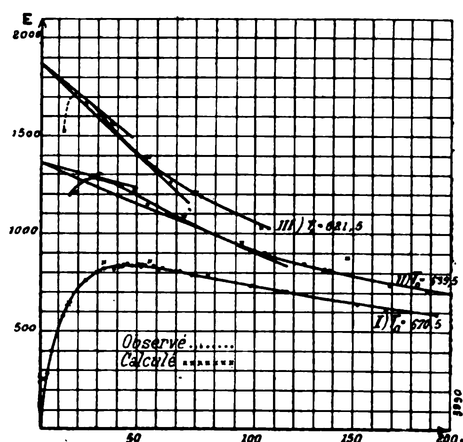


Fig. 1.

stable ou non, suivant que l'angle de cette droite avec l'axe des abscisses est plus grand ou plus petit que celui de la tangente à la courbe.

Si le circuit ne renferme pas de résistance notable en dehors de celle du filament, le régime ne peut être stationnaire que sous la condition $\frac{dE}{dI} > 0$, c'est-à-dire tant que le point considéré se trouve sur la branche ascendante de la courbe.

Les expériences directes vérifient ces prévisions. Quand la force électromotrice dépasse une certaine valeur, l'intensité du courant n'a plus de valeur définie, mais croît, lentement d'abord, puis plus rapidement au-delà de toute limite.

Ce phénomène est analogue à celui de la décharge par étincelles dans les gaz. On observe également un phénomène de retard, semblable au retard de l'étincelle : ce retard augmente d'autant plus qu'on dépasse davantage la force électromotrice limite.

Il devient très probable, en présence de ces analogies, que le courant dans les conducteurs de seconde classe puisse être intermittent comme

dans les gaz. Si L est l'induction propre du conducteur, C la capacité d'un condensateur placé en dérivation aux extrémités de ce conducteur, la condition pour que le courant soit intermittent est exprimée par l'inégalité

$$\frac{L}{CR} + \frac{dE}{dI} < 0.$$

D'après les valeurs du retard, il est à présumer que L est extrêmement grand et que par conséquent il faut donner à C et à R aussi de très grandes valeurs pour satisfaire à cette inégalité : C doit être égal à 1 microf, au moins, et R à plusieurs millions d'ohms. En outre, il faut disposer de forces électromotrices très grandes. M. Kaufmann a réalisé ces forces électromotrices au moyen d'un dispositif dû à M. Des Coudres, construit d'ailleurs pour un but différent.

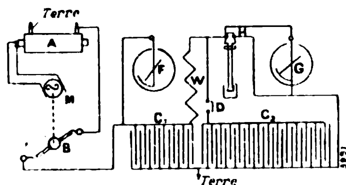


Fig. 2.

Une forte bobine d'induction A (fig. 2) est alimentée par un alternateur M à quatre inversions par tour : une barre de contact B, solidaire de l'arbre de l'alternateur relie, au moment où la force électromotrice passe par son maximum positif, l'un des pôles de la bobine à un grand condensateur C_1, dont la capacité est environ 0,6 microf. Si on ne prend sur ce condensateur que des courants de faible intensité, d'un milliampère, par exemple, sous une force électromotrice moyenne de 10 000 volts, cette force électromotrice décroît seulement pendant une période de la machine de 1/3 p. 100 environ de sa valeur.

Du condensateur C_1 qui sert uniquement de source d'électricité à haute tension, le courant traverse une résistance W d'environ 5.10^6 ohms puis le conducteur de Nernst J. En dérivation sur ce dernier se trouve un condensateur C_2, semblable à C_1, ayant une capacité de 1,2 microf. ; en D se trouve un interrupteur; G et F sont deux électromètres de Braun servant à la mesure des différences de potentiel.

Après beaucoup d'essais infructueux, M. Kaufmann a réussi à obtenir la décharge intermittente entre 310 et 318°. La période n'était pas très régulière par suite des phénomènes de retard signalés ci-dessus.

D'après lui, cette intermittence est due à des causes purement électro-dynamiques, comme dans les gaz et n'a rien à faire avec le mécanisme interne de la décharge. L'idée qu'on se fait souvent de la décharge par étincelle comme d'un phénomène disruptif, d'une espèce d'arrachement du diélectrique ne lui paraît pas d'accord avec tous les faits. Il propose de définir comme différence de potentiel explosive le maximum de E dans la caractéristique du gaz.

Il n'est guère possible dans l'état actuel de la théorie de calculer à priori la dérivée $\frac{dE}{dI}$ et la valeur de E qui correspond à $\frac{dE}{dI} = 0$, dans le cas des gaz. Mais on peut effectuer ce calcul dans le cas du conducteur de Nernst. Pendant le régime stationnaire, la quantité de chaleur perdue par conductibilité ou par rayonnement est égale à la chaleur de Joule dégagée dans le conducteur pendant le même temps. Si l'intervalle entre la température T_0 du four où est chauffé le conducteur et la température T de ce dernier n'est pas trop grand, on aura le droit d'écrire :

$$EI = k(T - T_0)$$

où k est une constante. Il viendra par suite :

$$\frac{E}{I} = f(T) = f\left(\frac{EI}{k} + T_0\right).$$

En se servant des courbes de la figure 1, on construit trois nouvelles courbes ayant pour abscisses E I, pour ordonnées $\frac{E}{I}$. Si l'équation est exacte, ces trois courbes doivent pouvoir se superposer par une simple translation : c'est en effet ce qui se vérifie d'une manière satisfaisante.

L'équation de la caractéristique se met dès lors sous la forme :

$$\frac{E}{I} = c\left(\frac{EI}{k} + T_0\right)^{-n}.$$

où

$$\log c = 53{,}180, \quad h = 966, \quad n = 18{,}2.$$

M. L.

Le Gérant : C. NAUD.

Tome XXIX. Samedi 14 Décembre 1901. 8e Année. — N° 50.

L'Éclairage Électrique

REVUE HEBDOMADAIRE DES TRANSFORMATIONS

Électriques — Mécaniques — Thermiques

DE

L'ÉNERGIE

SYSTÈMES DE DISTRIBUTION DE L'ÉNERGIE ÉLECTRIQUE

SYSTÈMES DE DISTRIBUTION PAR COURANTS ALTERNATIFS

Le nouveau dispositif imaginé par M. C. F. Scott [1] est destiné en somme à compléter son ancien dispositif employé couramment maintenant.

Le but recherché par M. Scott est de permettre l'alimentation directe d'un réseau triphasé par un alternateur diphasé sans l'emploi de transformateur.

A cet effet (fig. 1) l'alternateur à 4 phases est couplé en carré ; deux des conducteurs de la ligne sont connectés aux points de jonction opposés 5 et 6, tandis que le troisième l'est à l'extrémité libre de l'enroulement d'un auto-transformateur 14 alimenté par les conducteurs connectés aux deux autres bornes 9 et 10 de l'alternateur.

Les nombres de spires des deux parties de l'auto-transformateur sont choisis de façon à ce que la tension aux bornes extrêmes de ce dernier soit de 36,7 p. 100 supérieure à la tension entre fils du réseau.

La figure 2 montre le diagramme des tensions de l'appareil.

Les perfectionnements revendiqués par M. B. G. Lamme, ingénieur de la Compagnie Westinghouse [2] ont pour objet de permettre la variation de la tension dans les réseaux de distribution lorsque cette tension, ou les courants transmis, sont trop élevés pour autoriser

[1] Brevet anglais n° 11446. Déposé le 1er juin 1899, accordé le 7 avril 1900; date du dépôt du brevet américain : 4 novembre 1898.

[2] Brevet anglais n° 15066. Déposé le 21 juillet 1899, accordé le 19 mai 1900; date du dépôt du brevet américain : 30 janvier 1899.

l'emploi de commutateurs ordinaires. L'inventeur ramène la tension et les courants à une valeur convenable à l'aide du dispositif représenté sur la figure 3.

Sur le transformateur ordinaire 2, ramenant la haute tension à une tension utilisable pour la distribution, est disposé un second circuit secondaire 6 dont les différentes sections sont connectées aux plots 8 sur lesquels peut se déplacer une manette 9 qui permet de mettre en service un nombre de spires plus ou moins grand. La partie en service de

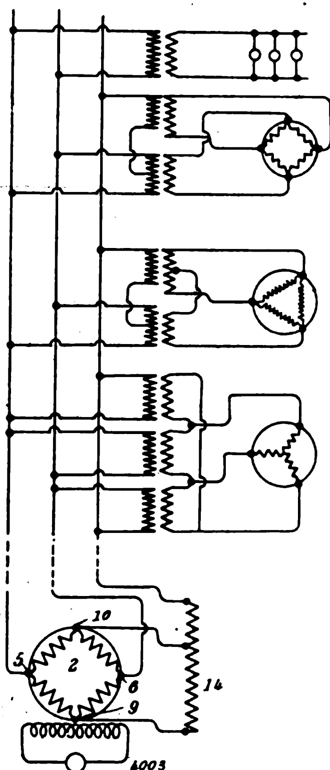


Fig. 1. — Dispositif de C.-F. Scott pour l'alimentation d'un réseau triphasé à l'aide d'un alternateur à 4 phases.

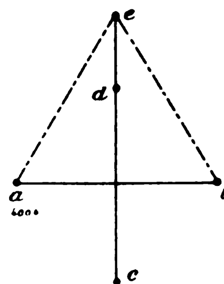


Fig. 2. — Diagramme des tensions dans le dispositif C. F. Scott pour l'alimentation d'un réseau triphasé par un alternateur à 4 phases.

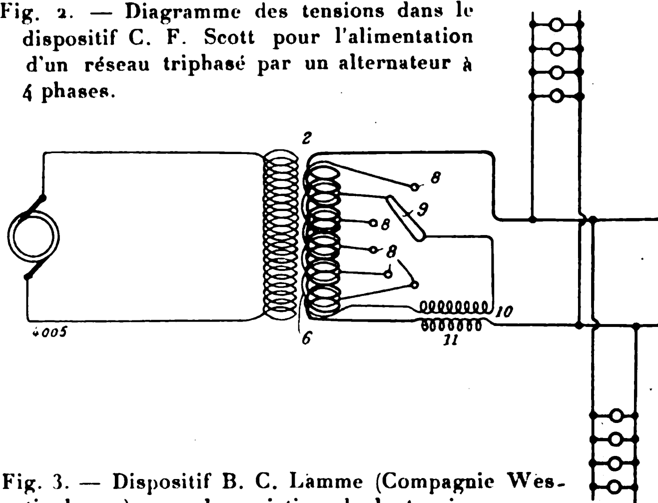


Fig. 3. — Dispositif B. C. Lamme (Compagnie Westinghouse) pour la variation de la tension sur un réseau à haut potentiel ou fort courant.

cet enroulement est fermée sur le primaire d'un petit transformateur 10 dont le secondaire 11 est en série sur la ligne.

Le fonctionnement de ce dispositif est facile à comprendre ; la tension du réseau se trouve augmentée d'une quantité proportionnelle au nombre de sections en service sur l'enroulement auxiliaire 6.

Dans un brevet relatif aux perfectionnements des systèmes de distribution par courants alternatifs, M. Ch. Proteus Steinmetz (1) revient sur une idée qui lui est chère : celle du montage des moteurs asynchrones en cascade, montage préconisé pour la première fois par MM. Siemens et Halske (2).

Imaginons un moteur asynchrone branché sur un réseau d'une fréquence donnée et dont

(1) Brevet anglais n° 5548. Déposé le 14 mars 1899, délivré le 20 janvier 1900.

(2) Voir C.-F. Guilbert, *La Lumière Électrique*, tome LI, p. 28, 1894.

l'induit, au lieu d'être fermé sur lui-même, est connecté avec l'inducteur d'un second moteur d'induction. L'induit de ce second moteur sera fermé sur lui-même ou sur un système de résistances variables à volonté à l'aide d'un commutateur spécial.

Les deux parties tournantes peuvent être montées sur un même arbre ou réunies par une courroie de façon à obtenir une même vitesse si le nombre de pôles est le même sur les deux moteurs.

On sait que les deux moteurs tourneront à une vitesse voisine de la moitié de celle correspondant au synchronisme et que la fréquence des courants dans l'induit du premier moteur et l'inducteur du second est alors la moitié de celle des courants du réseau d'alimentation. Si donc, comme le montre la figure 4, un circuit triphasé *abc* est placé en dérivation sur les conducteurs réunissant les deux circuits induit et inducteur du premier et du second

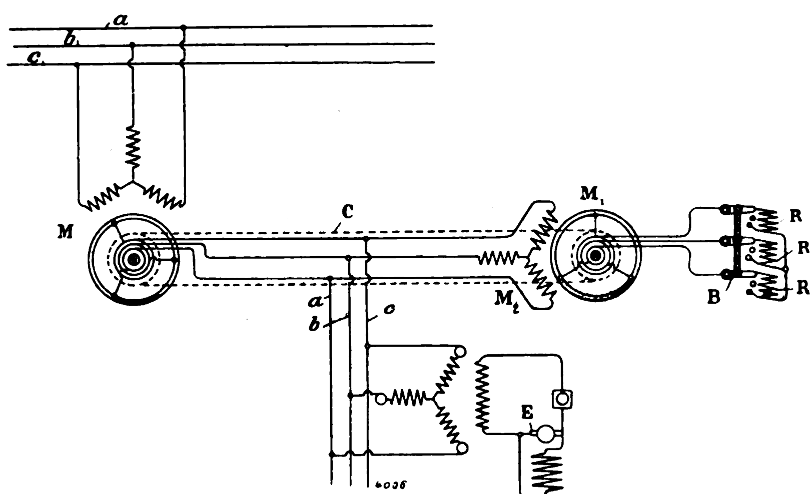


Fig. 4. — Transformateur de fréquence de la General Electric C° (Steinmetz).

moteur, ces conducteurs permettront d'alimenter des appareils d'utilisation avec une fréquence moitié moindre que celle du réseau.

De plus, grâce à la présence des résistances dans l'induit du second moteur, on pourra faire varier la vitesse des deux moteurs, la diminuer par exemple, et par suite augmenter la fréquence des courants du second circuit d'utilisation et permettre un réglage de la vitesse des appareils synchrones et asynchrones branchés sur ce second circuit. Tel est l'objet du brevet signalé de la General Electric C°.

Si l'on veut obtenir une plus grande marge de variation de vitesse, on peut employer le dispositif de la figure 5, qui prévoit l'emploi de 3 moteurs couplés en cascade. Le moteur à fréquence réduite peut être branché à volonté sur l'un ou l'autre des circuits d'utilisation intermédiaire $a_1 b_1 c_1$ ou $a_2 b_2 c_2$.

M. Steinmetz fait remarquer que une ou plusieurs des différentes machines couplées en cascade peuvent fonctionner comme génératrices d'induction conduites mécaniquement par les autres fonctionnant comme moteurs. En particulier, dans le dispositif de la figure 4, la machine M_1 agit comme un frein sur la machine M et l'énergie absorbée est transmise mécaniquement à la machine M_1 qui fonctionne comme génératrice d'induction en parallèle avec les circuits secondaires de M.

Pour certaines vitesses toutefois, et pour les fréquences correspondantes sur le circuit induit de la machine M_1, laquelle est excitée par ses propres courants, cette machine n'a

aucune tendance à fonctionner comme génératrice ; mais dans ces conditions, il n'y a aucune charge mécanique sur la machine M laquelle aurait alors une vitesse un peu supérieure à celle du demi-synchronisme.

Ceci a pour effet d'augmenter la vitesse de M_1 et en même temps de réduire la fréquence des courants dans les circuits auxiliaires $a_1 b_1 c_1$.

Lorsque l'accroissement de vitesse a atteint une certaine valeur, la vitesse de M_1 devient plus grande que celle qui correspondait à la fréquence des courants dans les circuits auxiliaires et M_1 tend à fonctionner comme une génératrice d'induction et exerce alors un

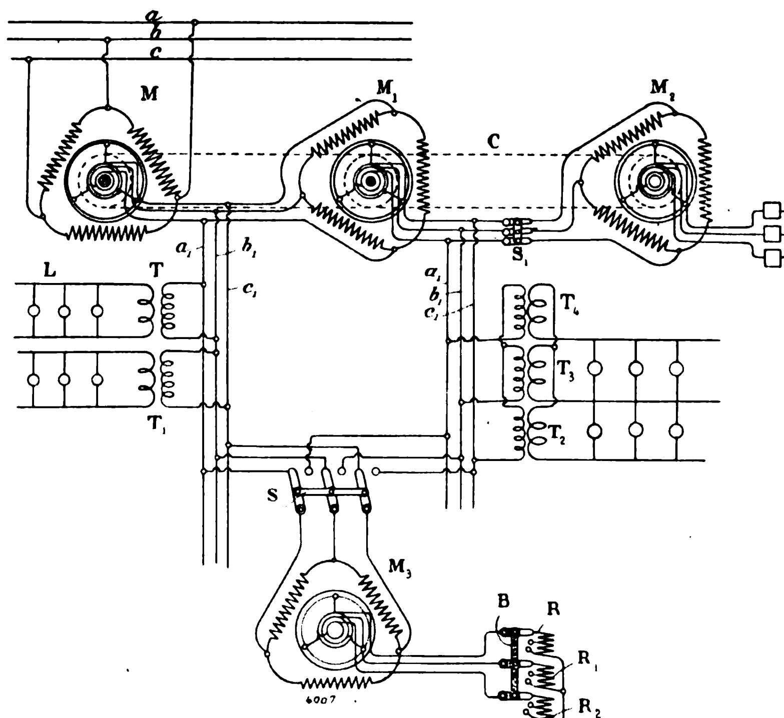


Fig. 5. — Transformateur de fréquence de la General Electric C° (Steinmetz).

couple résistant sur la machine M par l'intermédiaire de la courroie ou de l'arbre commun et cette machine s'opposera ainsi à un nouvel accroissement de vitesse.

La machine M_1 agit alors comme génératrice pour fournir des courants aux circuits auxiliaires, courants de même fréquence que ceux qui circulent dans ce circuit et l'énergie absorbée par cette machine est transmise par la courroie ou par l'arbre.

Dans un second brevet ([1]) relatif également aux transformateurs de fréquence, M. Steinmetz se propose d'obtenir une variation considérable de vitesse d'un moteur asynchrone ou synchrone ordinaire.

Le dispositif est représenté sur la figure 6. Un moteur asynchrone spécial M branché sur un réseau *abc* a son induit en relation avec un premier circuit auxiliaire $a_1 b_1 c_1$ sur lequel sont disposés des appareils d'utilisation L. Ce moteur conduit en outre par courroie ou par accouplement direct une génératrice triphasée G pourvue d'une excitatrice permettant de faire varier le courant d'excitation dans une large mesure. Cette génératrice alimente un second circuit auxiliaire $a_2 b_2 c_2$ pourvu d'appareils d'utilisation L.

([1]) Brevet anglais n° 5549. Déposé le 14 mars 1899, délivré le 20 janvier 1900.

Supposons que le moteur M soit chargé de façon à fonctionner à une vitesse égale à la moitié de celle correspondant au synchronisme. La fréquence des courants dans le circuit $a_1 b_1 c_1$ sera moitié de celle du circuit principal $a b c$; si de plus nous avons choisi le rapport de poulies ou le nombre de pôles de la génératrice G de façon que, dans les mêmes conditions de charge du moteur, la fréquence des courants dans le circuit $a_2 b_2 c_2$ soit également la moitié de celle des courants du circuit principal, on voit que si la charge du moteur vient à varier, à diminuer par exemple, la fréquence des courants augmentera dans le circuit $a_1 b_1 c_1$ pour diminuer dans le circuit $a_2 b_2 c_2$.

Si alors nous disposons un second moteur d'induction M_1 de façon à pouvoir l'alimenter par l'un ou l'autre des circuits auxiliaires $a_1 b_1 c_1$ ou $a_2 b_2 c_2$, on voit qu'on pourra obtenir par variation des charges d'utilisation de ces deux circuits toutes les fréquences comprises entre zéro et la fréquence des courants du réseau. Un rhéostat à résistance variable placé dans l'induit du moteur M_1, permettra encore de faire varier la vitesse de ce moteur dans une certaine mesure, pour chaque fréquence adoptée dans l'un ou l'autre circuit auxiliaire.

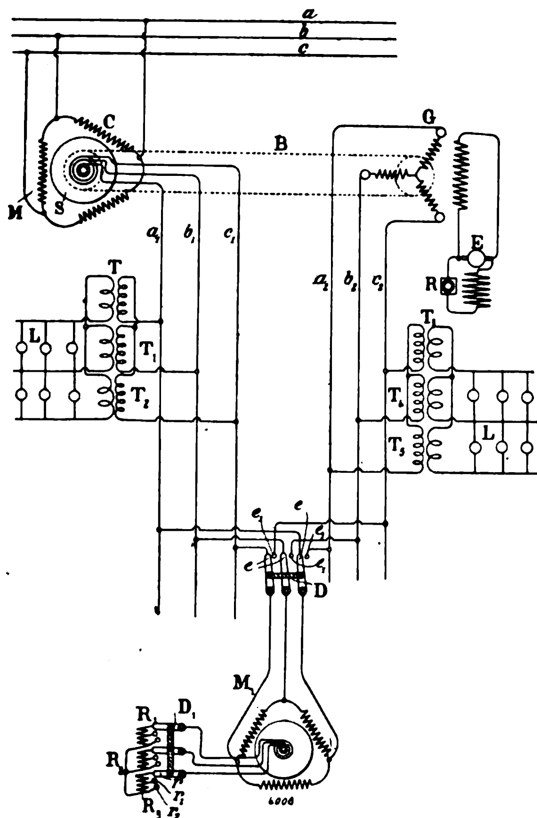


Fig. 6. — Transformateur de fréquence à variation continue de la General Electric C° (Steinmetz).

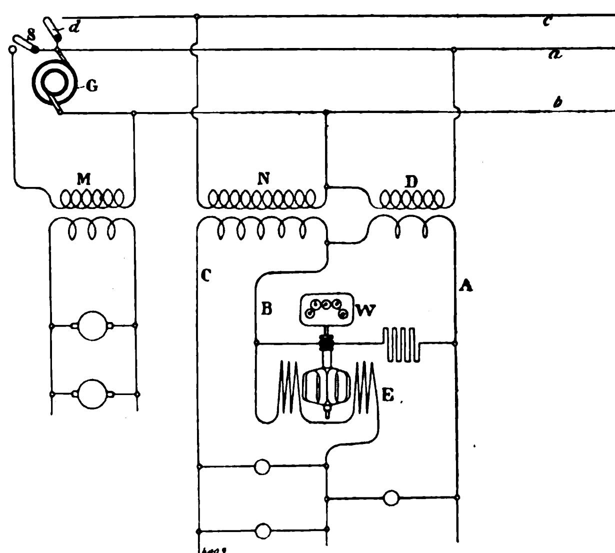


Fig. 7 — Dispositif Steinmetz (General Electric C°) pour la diminution des pertes dans le fer des transformateurs.

Ce dispositif, dont le rendement n'est pas merveilleux, peut toutefois trouver son application dans des installations de laboratoires d'essais ou de recherches.

Les inconvénients des pertes dans le fer des transformateurs pendant la marche de jour sont bien connus et différents dispositifs ont été imaginés pour les annuler (interrupteurs automatiques) ou pour les supprimer (modification de couplages des enroulements). M. Steinmetz [1] propose un nouveau procédé permettant d'obtenir un résultat analogue sans donner lieu aux inconvénients inhérents aux procédés que nous venons de

[1] Brevet anglais n° 21677. Déposé le 30 octobre 1899, délivré le 27 janvier 1900.

rappeler. Le dispositif Steinmetz consiste tout simplement à remplacer chaque transformateur par un groupe de deux autres, un suffisant pour assurer l'alimentation des appareils employés seulement le jour et l'autre pour le service de nuit. La nouveauté consiste surtout dans le groupement de ces deux appareils.

Les deux transformateurs N et D (fig. 7) ont un pôle commun sur leurs circuits primaires comme sur leurs circuits secondaires. Le pôle primaire commun est réuni à un des conducteurs de la ligne et les pôles non communs à deux conducteurs distincts partant de l'usine.

L'un de ces conducteurs est, à l'usine, réuni constamment à l'alternateur, c'est le conducteur du service de jour, l'autre peut être mis en parallèle avec le précédent à l'aide d'un interrupteur unipolaire.

Sur le circuit d'utilisation à basse tension, il y a également un conducteur commun et c'est sur lui naturellement que sera monté le compteur puisque ce conducteur est traversé par la somme des courants débités par les deux transformateurs.

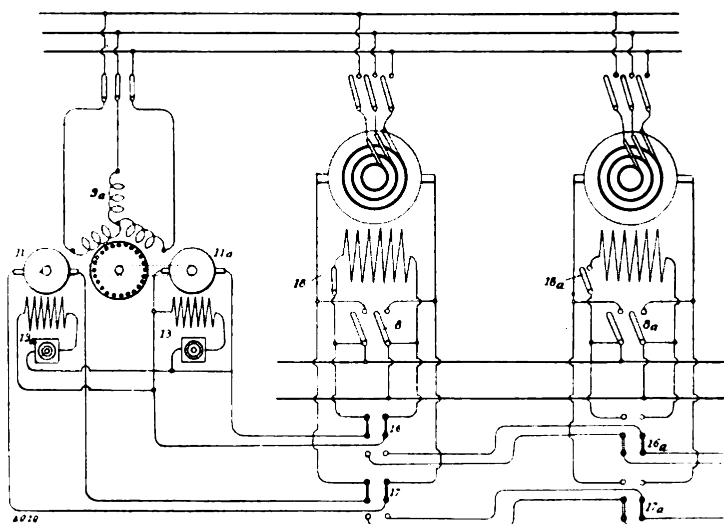


Fig. 8. — Procédé de démarrage des commutatrices de la General Electric C° (M. Potter).

Le procédé de démarrage imaginé par M. Potter (¹), de la General Electric C°, pour le démarrage des commutatrices sans l'emploi d'accumulateurs ne diffère pas sensiblement de celui employé par la plupart des constructeurs et dont nos lecteurs ont pu voir des applications avec les commutatrices Alioth et de la compagnie Thomson-Houston, exposées l'an dernier à Paris aux Invalides et au Grand Palais.

Ce procédé consiste, en effet, tout simplement à se servir d'un groupe moteur générateur dont le moteur est alimenté par le réseau à courants alternatifs.

Un petit perfectionnement est toutefois à signaler dans un second dispositif analogue, c'est la suppression du rhéostat de démarrage par l'emploi d'une génératrice à deux induits et inducteurs séparés comme le montre schématiquement la figure 8. Une des machines est alors employée pour l'excitation de la commutatrice à démarrer, et l'autre pour l'induit seul. Le synchronisme atteint, la commutatrice est accrochée par la manœuvre simultanée des interrupteurs 8 et 16.

(¹) Brevet anglais n° 22535. Déposé le 11 novembre 1899, délivré le 27 octobre 1900.

Le dispositif de régulateur de la tension dans les distributions à courant constant de M. Elihu Thomson (1) se rapporte aux appareils dans lesquels un enroulement est mobile par rapport à un autre.

L'appareil de M. Elihu Thomson est représenté sur les figures 9 et 10. Il est constitué par un transformateur du type cuirassé dont l'un des enroulements est fixe et l'autre mobile le long du noyau. La longueur de ce noyau dépend de la variation de charge admise.

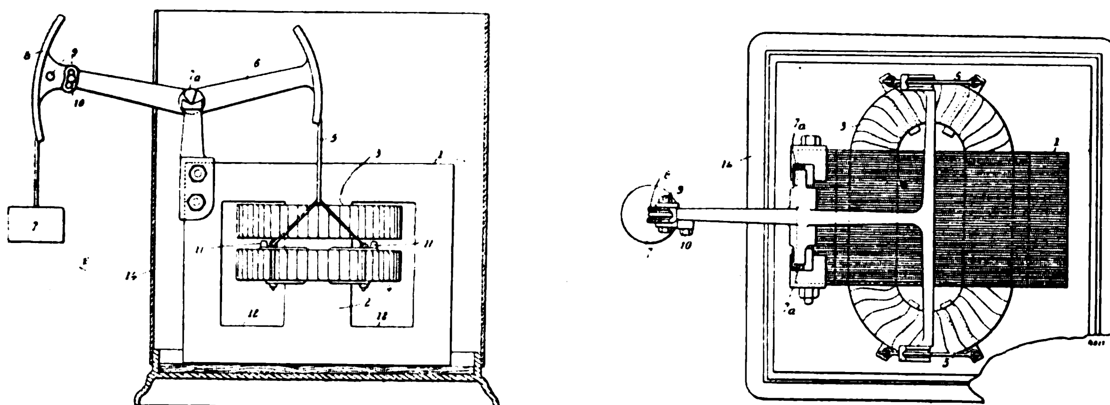


Fig. 9 et 10. — Transformateur à courant secondaire constant de M. E. Thomson.

Le second enroulement mobile est supporté par un levier 6 reposant par un couteau 7_a sur un support fixé sur l'appareil.

Le poids de l'enroulement est équilibré par un poids 7. Pour permettre de faire varier l'effort contrebalançant du poids 7, on peut faire varier la longueur du bras de levier en inclinant plus ou moins sur le levier 6 le secteur 9 sur lequel repose le cordon retenant le poids; un boulon de serrage fixe le secteur dans la position voulue.

Le jeu de l'appareil est basé sur la répulsion des enroulements primaire et secondaire lorsqu'ils sont traversés par le courant. Si le courant vient à baisser par suite de la mise en service d'un nouvel appareil d'utilisation, la répulsion diminuant les bobines se rapprochent et la tension augmente par suite de la diminution des fuites magnétiques. Des arrêts 11 empêchent les bobines primaire et secondaire de se toucher.

Il est désirable que le transformateur ne fonctionne, grâce aux fuites magnétiques, que pour les faibles charges.

Pour éviter le pompage des commutatrices en parallèle, qu'il attribue aux trop grandes chutes ohmiques des lignes, M. W.-J. Davis, de la General Electric Co (2), propose un moyen terme particulièrement simple.

L'inventeur, conseille, en effet, de ne laisser les convertisseurs en parallèle que pour les faibles charges et de les alimenter seuls, ou par petits groupes, par une génératrice unique ou un groupe de génératrices équivalent.

Ce dispositif permet bien de réduire le poids de cuivre qu'il serait nécessaire d'employer si l'on voulait éviter une forte chute de tension pour les marches en charge ou en surcharge, mais cette économie du poids du cuivre peut facilement être surpassée par l'emploi d'une

(1) Brevet anglais n° 11797. Déposé le 29 juin 1900, délivré le 18 août 1900.

(2) Brevet anglais n° 15167. Déposé le 25 août 1900, délivré le 29 septembre 1900.

***

ligne par commutatrice ou petit groupe de ces appareils. C'est du reste certainement le cas pour les canalisations souterraines à haute tension. Le dispositif de M. W.-J. Davis est schématisé sur la figure 11 ; le schéma montre ainsi la possibilité, lorsqu'un groupe de commutatrices est très chargé tandis que les autres sont à faible charge, de le séparer du circuit et de l'alimenter par une génératrice unique. Ce qui a été dit pour les commutatrices s'applique évidemment à des appareils synchrones quelconques.

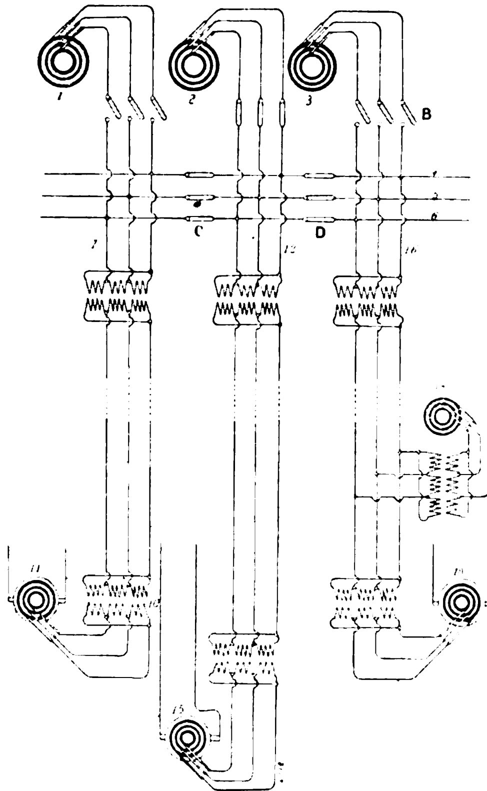


Fig. 11. — Dispositif de distribution par convertisseur de la General Electric C° (W. J. Davis).

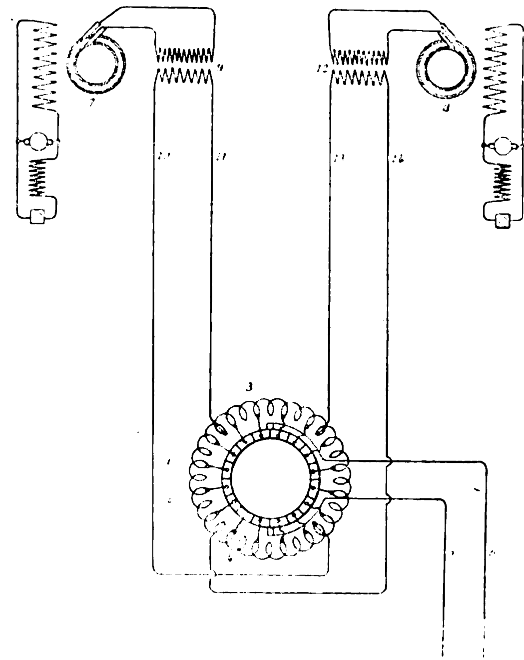


Fig 12. — Procédé de couplage d'alternateurs d'un nombre de phases différent de la General Electric C° (Lunt).

Dans ses perfectionnements aux systèmes de distribution de l'énergie électrique, M. A.-D. Lunt, de la General Electric C° (1), vise la possibilité de grouper un certain nombre de génératrices de même fréquence, mais d'un nombre de phases différent, par l'emploi d'une autre machine spéciale. Dans un but plus restreint, M. Lunt se propose de grouper par exemple plusieurs alternateurs à courants alternatifs simples et de maintenir entre eux un déphasage déterminé de façon à alimenter un réseau polyphasé ou un appareil récepteur quelconque polyphasé.

L'idée de l'auteur consiste à profiter des réactions qui s'exercent entre les diverses machines lorsqu'on les groupe sur une machine polyphasée quelconque. C'est en somme une légère variante du dispositif de M. Steinmetz sur le couplage de plusieurs machines en série fermée que nous avons décrit autrefois (2).

(1) Brevet anglais n° 15285. Déposé le 28 août 1900, délivré le 29 septembre 1900.

(2) Voir notre article « Système de distribution de l'énergie électrique ». *L'Éclairage Électrique*, tome XIX, pages 281, 287, 401, 1899.

Dans l'exemple représenté sur la figure 12, deux alternateurs à courants alternatifs simples sont groupés sur un convertisseur bipolaire à quatre phases ; les deux génératrices sont connectées chacune sur des points situés sur deux diamètres perpendiculaires.

Le démarrage doit se faire à l'aide d'un des alternateurs seulement. En employant deux alternateurs à courants triphasés, il serait possible d'alimenter avec eux une commutatrice à 6 phases.

Appareils de sécurité. — L'appareil breveté par M. Elihu Thomson (1) et que nous décrivions tout d'abord a pour but de mettre un transformateur hors circuit par la fusion de ses coupe-circuits dans le cas d'un défaut d'isolation du transformateur, ou d'un défaut analogue dans le circuit d'utilisation.

Cet appareil est représenté schématiquement sur la figure 13, où il est appliqué à un transformateur 3 alimentant un circuit 4.

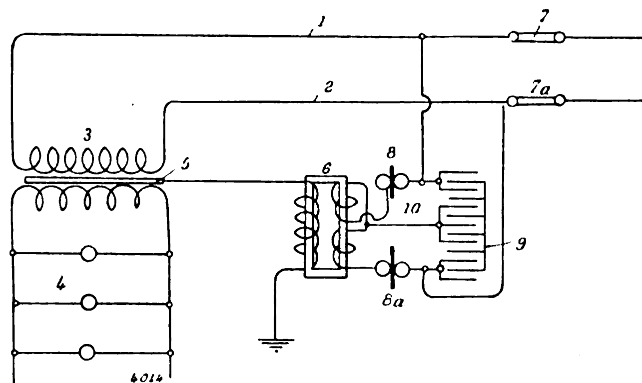


Fig. 13. — Appareil de sécurité Elihu Thomson ; schéma des circuits.

La masse du transformateur 3, ou une borne de son enroulement secondaire, est mise à la terre à travers le primaire d'un petit transformateur auxiliaire 6, qui possède deux circuits secondaires connectés en série et de telle façon qu'un courant les traversant, les ampèretours des deux circuits se compensent, de manière à constituer un circuit sans inductance appréciable.

Les deux extrémités libres des enroulements secondaires sont terminées par deux petites boules analogues à celles d'un excitateur et séparées de deux autres de même forme, réunies aux deux conducteurs primaires par une distance très faible, à l'aide d'une feuille isolante dont l'épaisseur est réglée de façon à ce que l'étincelle éclate pour une tension

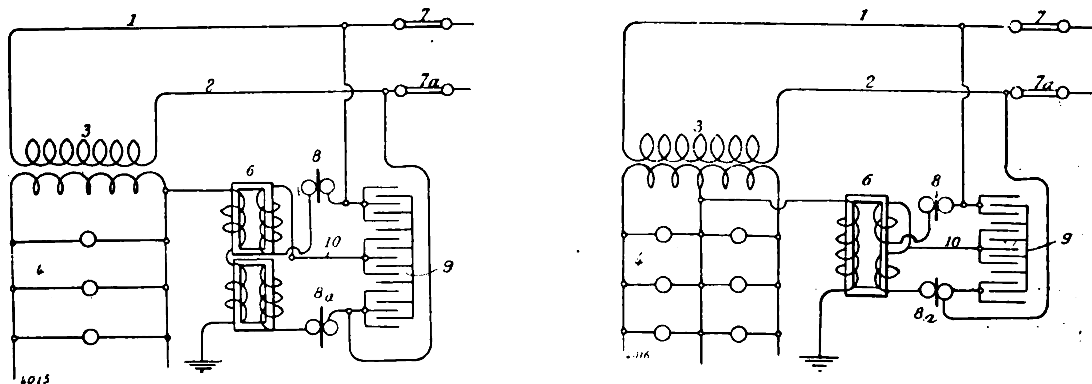


Fig. 14 et 15. — Appareil de sécurité Elihu Thomson ; variantes.

déterminée. Un condensateur 9, en trois parties, est placé, comme l'indique la figure, entre les boules de l'appareil de sécurité et son point milieu est connecté aux points de jonction des deux bobines du transformateur auxiliaire.

Le condensateur a une capacité relativement petite.

(1) Brevet anglais n° 23284. Déposé le 22 novembre 1899, délivré le 27 janvier 1900.

Si un courant vient à passer par le conducteur de terre, il réagit sur le transformateur auxiliaire, l'étincelle éclate entre les boules par suite de l'augmentation de tension et le condensateur entre en action. Tout se passe alors comme si les conducteurs primaires étaient mis en court-circuit et les feuilles 7 fondent immédiatement en isolant le transformateur.

M. Elihu Thomson indique différentes variantes dans la constitution ou le montage de son appareil. La figure 14 correspond au cas où l'on emploie deux petits transformateurs

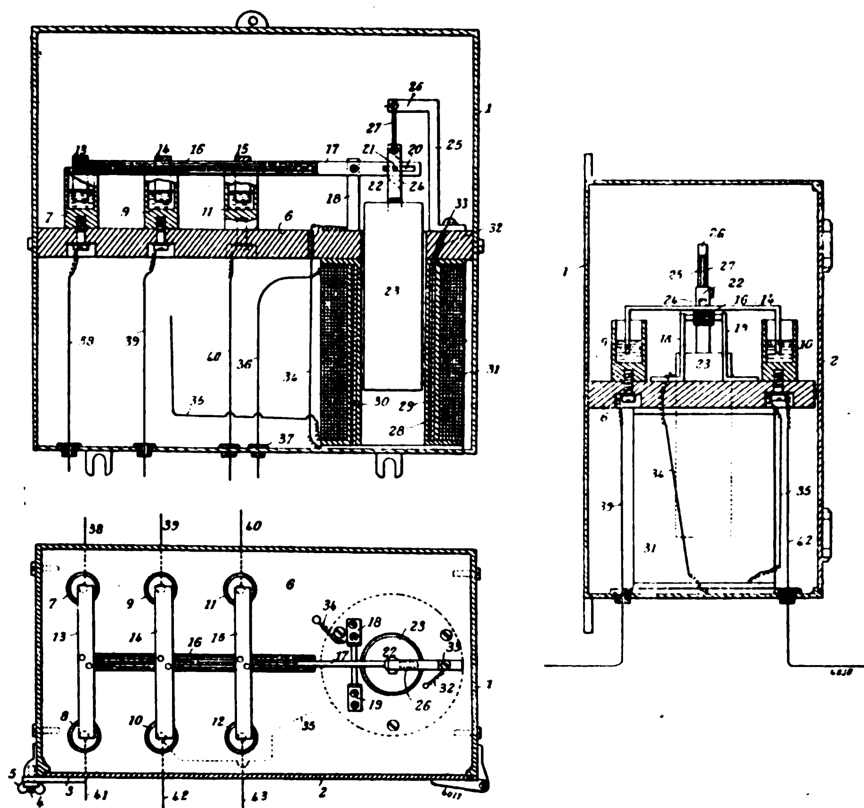


Fig. 16, 17 et 18. — Appareil de sécurité de MM. Reed et Farrar.

auxiliaires, un pour chaque enroulement secondaire; sur la figure 15 l'appareil est appliqué à une distribution à 3 fils, dans ce cas le fil de terre est connecté au fil compensateur de la distribution à travers le primaire du transformateur auxiliaire.

Le dispositif de sécurité de MM. L.-C. et W.-B. Reed et de M. E.-H. Farrar [1] consiste en un interrupteur automatique dont l'ouverture est sous le contrôle d'un électro-aimant.

L'appareil est représenté sur les figures 16, 17 et 18. Il est formé d'une caisse en fonte partagée en deux parties par une plaque en matière isolante 6 portant des godets à mercure en relation avec des conducteurs du réseau à protéger. L'un des godets 10 est connecté avec l'un des enroulements 31 d'un électro-aimant 4 dont l'extrémité libre 36 est mise à la terre.

Le commutateur proprement dit est articulé autour d'un axe 21 maintenu par un sup-

[1] Brevet anglais n° 3105. Déposé le 16 février 1900, délivré le 31 mars 1900.

port 18. L'extrémité du levier de manœuvre de ce commutateur porte une ouverture 20 dans laquelle s'engage un guide 21 placé en travers d'une fenêtre 24 ménagée sur une tige 22 portant l'armature 23 de l'électro-aimant.

Dans le cas de l'emploi de l'appareil pour une distribution à courants alternatifs, la tige portant l'armature de l'électro est terminée par un fusible 27 fermé sur un second enroulement 29.

S'il s'agit d'une distribution à courant continu, on voit facilement que toute communication avec la terre s'établissant en un point quelconque du réseau, l'électro-aimant est attiré et le circuit coupé.

Avec des courants alternatifs, pour éviter l'effet dû à la self-induction de l'enroulement mis à terre, on a fermé le second enroulement sur lui-même à travers un fusible. Le passage du courant dans le primaire détermine une forte intensité dans le secondaire qui a pour effet de faire fondre le fusible et de permettre l'attraction immédiate de l'armature.

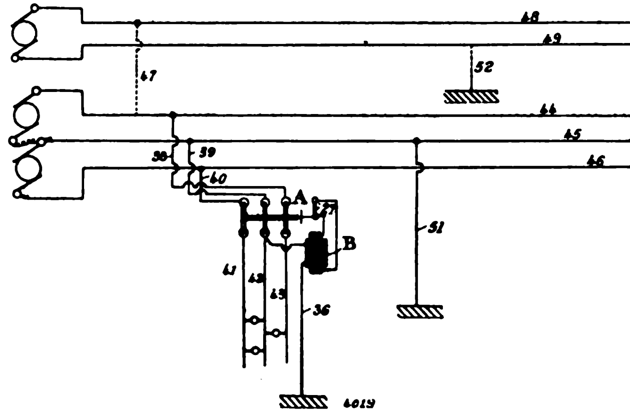


Fig. 19. — Appareil de sécurité de MM. Reed et Farrer; schéma de montage des circuits.

La figure 19 montre l'un des cas qui peuvent se présenter, celui où un conducteur d'une ligne à haute tension vient à toucher un des fils d'une distribution à basse tension en même temps que l'autre conducteur est mis accidentellement à la terre. Dans ce cas, l'appareil de sécurité peut fonctionner en parallèle avec le fil de mise à la terre du conducteur neutre, s'il en existe un.

Les inventeurs indiquent également plusieurs autres cas dans lesquels l'appareil peut fonctionner.

Dans un second brevet sur le même sujet [1], les inventeurs s'occupent plus spécialement des distributions par courants alternatifs dans le cas de mise à la terre de plusieurs conducteurs de la basse tension.

C.-F. Guilbert.

APPLICATION DES OSCILLOGRAPHES

A L'ÉTUDE DES ALTERNATEURS [2]

Bien que l'on ait beaucoup publié et qu'on publie chaque jour sur les alternateurs, il y a encore pénurie de documents complets, notamment en ce qui concerne les réactions dont ces machines sont le siège en charge. Il nous a donc paru intéressant de procéder à une étude expérimentale complète de deux de ces machines au point de vue non seulement des valeurs efficaces, mais aussi des valeurs instantanées des forces électromotrices et des courants dont elles sont le

[1] Brevet anglais n° 3107. Déposé le 16 février 1900, délivré le 24 mars 1900.

[2] Communication présentée au Congrès international des électriciens (Paris, août 1900), par MM. André Blondel, Dobkévitch, Duris, Farmer et Tcheruosvitoff.

Tableau I. — *Alternateur triphasé.*

1350 tours, 45 ∽. Excitation constante 1,125 amp., 110 volts par phase, montage en triangle, 62 volts, montage en étoile.

Caractéristique à circuit ouvert.

Amp. d'excitation.	Volts aux bornes d'une phase.
0,0	0,69
0,04	2,82
0,12	6,74
0,18	10,97
0,24	14,43
0,30	17,75
0,34	19,96
0,39	23,20
0,43	25,40
0,61	34,40
0,84	47,40
1,00	57,20
1,06	61,00
1,11	63,30
1,15	65,80
1,20	68,30
1,24	70,00
1,28	71,80
1,32	74,50
1.42	79,90
1,64	90,90
1,77	96,59
1,83	99,40
1,87	101,10
2,06	108,40

Caractéristique en court-circuit.

Amp. d'excitation.	Amp. de l'induit.
0,0	0
0,08	2,5
0,14	6,2
0,24	10,6
0,37	16,2
0,54	23,7
0,67	29,3
0,79	38,3
0,89	39,8
1,00	45,0
1,06	48,0
1,10	59,0

Caractéristique à voltage constant = 110 volts (62 volts par branche).

1,11	0
1,11	2,0
1,12	4,1
1,13	5,5
1,13	7,6
1,15	9,8
1,17	11,4
1,18	13,1
1,19	14,75

Tableau II. — *Caractéristiques en charge (symétriquement).*

Sur résistances mortes en triphasé.

Volts.	Ampères.
62	0
60	3,3
58	6,2
57	11,2
56	13,9
55	17,0
47	29,0
41,5	36,8
35,5	41,5
32,5	43,8
27,0	46,8
25,2	47,6
21,2	48,4
18,3	48,9
16,0	49,1
12,7	49,8
11,1	49,9
9,5	59
3,0	59
0	59

Sur résistances inductives en triphasé.

Volts.	Ampères.
62	0
51	7,5
49,5	10,0
44,0	14,1
38,0	18,6
36,0	20,3
32,0	24,1
27,5	29,7
16,3	38,1
12,5	40,8
6,7	43,6
1,0	47,5
0	50,0

Caractéristique en charge sur résistance morte en monophasé.

Ampères.	Volts de la phase chargée	Volts des phases ouvertes.
10	60	63
15,5	58,6	62,5
20,1	54,7	62,0
25,0	55,5	61,0
30,8	54,0	60,6
35,8	52,0	60,3
41,0	49,6	59,3
48,8	45,5	57,0

Tableau III. — *Alternateur diphasé.*

1350 tours 45 ∽.

Caractéristique d'excitation.

Ampères d'excitation.	Volts.
0,066	5,5
0,084	7,0
0,105	10,0
0,15	14,6
0,234	23,6
0,24	24,6
0,285	29,0
0,348	35,5
0,39	39,5
0,439	45,5
0,48	48,0
0,54	59,0
0,60	62,0
0,645	66,0
0,696	72,0
0,765	79,5
0,81	84,5
0,87	90,5
0,915	95,0
0,96	101,0
0,993	105,0
1,02	107,4
1,032	108,2
1,038	109,0
1,065	112,3
1,095	115,5
1,119	118,0
1,182	120,0
1,221	125,5

Caractéristique en charge en diphasé.

1° Sur résistance morte.

Volts.	Ampères.
110	0
105	8
99	14,5
81	26,2
68	30,2
48,5	36,5
34,5	40,2
20,0	42,0
17,6	41,2
13,0	40,2
11,6	41,0
9,5	40,5
0	39,5

2° Sur résistance inductive.

Volts.	Ampères.
110	8
85,8	0
80,2	10,2
72,5	12,5
66,4	15,2
61,3	17,3
53,7	20,2
48,5	22,0
46,2	23,0
40,7	25,0
29,8	29,2
23,2	31,2
19,2	33,0
15,0	34,5
0	39,5

Tableau IV. — *Alternateur diphasé.*

Caractéristique en charge en monophasé. Excitation constante 1,02 amp.

1° Sur résistance morte.

Ampères.	Volts, phase chargée.	Volts, phase ouverte.
0	110	110
7,0	105,8	109,6
14,0	101,0	108,5
19,7	96,5	107,5
24,2	92,0	105,0
28,1	87,0	103,2
32,2	82,5	101,5
37,0	76,4	98,4
41,8	68,5	96,0
51,0	51,0	85,0
55,9	41,5	80,0
60,0	31,0	75,0
64,0	0	66,5

2° Sur résistance inductive.

Ampères.	Volts, phase chargée.	Volts, phase ouverte.
0	110	110
5,1	99,5	104
7,0	96,2	102
9,0	93,5	100,8
12,5	88,0	98
15,3	82,5	95
18,6	78,5	92,8
21,1	74,0	89,1
23,5	69,0	85,5
27,1	62,5	82,5
30,1	57,0	81,0
32,2	54,3	79,6
34,9	50,0	77
38,0	44,5	75,5
41,3	40,2	72,0
43,3	36,3	69,7
45,6	32,0	65,0
50,7	25,0	63,5
54,0	21,0	63,0
56,7	19,0	61
58,0	17,0	60
64,0	0	

****

TABLEAU V. — *Alternateur triphasé.*

Vitesse : 1350 tours, excitation : 1,08 ampère.

N° de la figure	OBJET DE L'EXPÉRIENCE	NATURE du circuit de charge	INTENSITÉ du courant de l'induit phase 1	VOLTAGE AUX BORNES Phase 1	Phase 2	Phase 3	INTENSITÉ du courant d'excitation	VOLTAGE aux bornes des inducteurs
5	Circuit ouvert	nulle	0	63	63	63	1,08	90
6	1 phase chargée	liquide	9,3	59,5	63,5	64	»	94
7	» »	lampes	10	60	64,5	63	»	90,5
8	» »	»	25,7	55	65	61	»	95
9	» »	mixte	50	44	63,5	55,6	»	95
10	3 phases chargées équilibrées . . .	lampes	11,2	57	57	57	»	90
11	» » » . . .	mixte	29,5	47,5	47,5	47,5	»	90
12	» » » sur circuit inductif	self	10	51	51	51	»	90 88,5
13	3 phases chargées équilibrées sur circuit inductif	»	32	24,1	24,1	24,1	»	90
14	Court circuit	»	47,5	1	1	1	»	90
	Alternateur diphasé (1350 *tours*, 45 ∽).							
15	F. é. m en circuit ouvert.		0				1,02	89
16	Les deux phases également chargées.	lampes	14,5	99	99		»	89,5
17	» »	»	22,8	86,2	85,8		»	90
18	» »	»	24,5	93,5	107,8		»	93,5
19	» en court-circuit. . .	»	39,5	0	0		»	
20	Court-circuit de la phase seule. . .	»	62,5	0	60		»	
21	Une seule phase fermée sur self . .	self	15	69,5	69,5		»	
22	» »	»	25,8	35,5	35,5		»	
23	» »	»	34,2	50	76		»	
24	» »	»	15,3	82	94		»	

La force électromotrice en circuit ouvert (fig. 5) s'éloigne peu de la sinusoïde ; elle n'est pas sensiblement dentelée grâce à la présence d'un large entrefer qui adoucit l'arrachement au passage des dents devant les pôles.

Dans les expériences 6 et 7 le rhéostat est une cuve électrolytique à électrodes en zinc dans du sulfate de zinc. Contrairement à ce qu'on avait pensé, cette cuve, soumise à une trop forte densité de courant qui amène la caléfaction locale du liquide, introduit du décalage en avant et de la distorsion du courant. Dans les expériences 7 et 11, le rhéostat est mixte (cuve et lampes en parallèle). Partout ailleurs il est formé de batteries de lampes en parallèle.

Les courants et la force électromotrice sont pris entre les balais de chaque phase et le point neutre commun aux diverses phases.

Ces résultats montrent bien que la charge d'une des phases fait baisser la force électromotrice de toutes les phases, mais inégalement ; dans les expériences 6 et 7, il y a, au contraire, léger relèvement parce que le rhéostat liquide produit un effet de capacité. En outre les deux phases non chargées subissent des effets de distorsion inverse, la courbe de l'un devenant plus pointue et celle de l'autre plus aplatie, tandis que la courbe chargée reste voisine de la sinusoïde.

On remarquera en outre que le courant des inducteurs devient de plus en plus pulsatoire quand le courant de l'induit augmente et que sa pulsation est de fréquence différente suivant qu'une seule période est chargée ou toutes les trois. Dans le premier cas, qui est celui des alternateurs monophasés, la pulsation est de fréquence double de la fréquence du courant, comme l'un de nous l'avait déjà montré en 1891 (1). Au contraire avec les trois phases chargées symétriquement la fréquence

(1) A. BLONDEL. — *La Lumière Électrique*, 12 septembre 1891, p. 515.

est six fois celle du courant et d'amplitude bien plus faible. On s'en rend du reste compte aisément théoriquement en analysant la réaction de l'induit. La force magnétomotrice opposée dans les pièces polarisées se reproduit tous les 1/6 de période, elle oscille entre un maximum et un minimum de 1/12 en 1/12 de période. De même la fréquence est 4 fois celle du courant dans les machines diphasées.

Il est curieux, sur la figure 14, de constater le mélange de ces fréquences doubles et sextuples dû sans doute à l'effet prépondérant d'une des phases.

La même analyse montre que la réaction d'un alternateur diphasé doit présenter une fréquence quadruple de la fréquence propre. C'est bien en effet ce qu'on vérifie sur les figures 16 à 19.

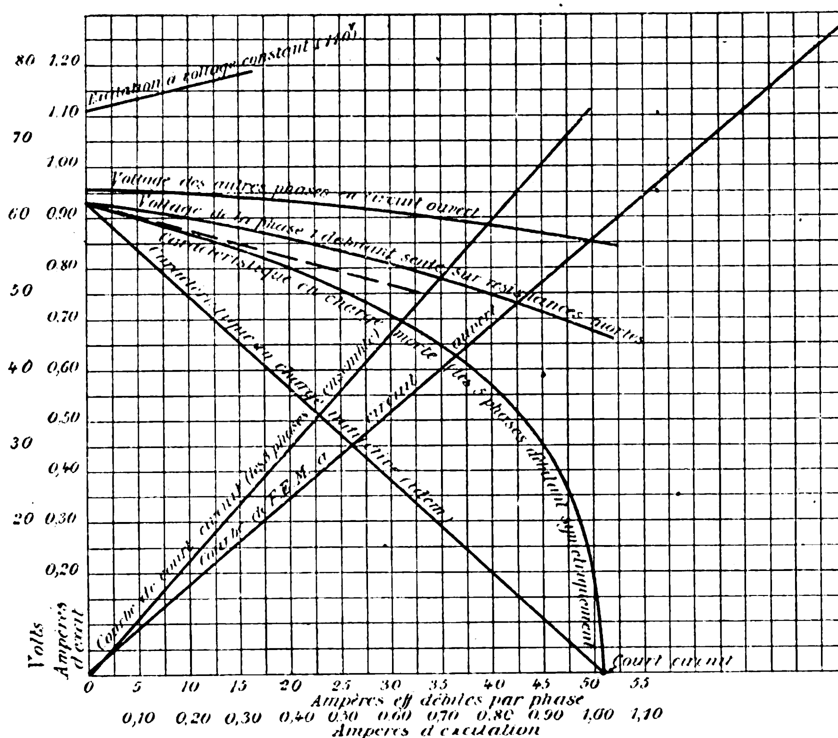


Fig. 4. — Différentes caractéristiques de l'alternateur triphasé à circuit ouvert, en charge et en court-circuit.

Notre second alternateur diphasé est plus intéressant que le premier, grâce à son faible entrefer qui accroît beaucoup l'influence des dentures et la réaction de l'induit.

Grâce au premier de ces effets, la force électromotrice (figure 15) au lieu d'être sinusoïdale est de la forme

$$E_0 \sin \omega t \sin (2n\omega t)$$

en appelant n le nombre de dents de l'induit sous un arc correspondant *au pas* des inducteurs.

Les dentelures se conservent dans la force électromotrice même en charge, et se font sentir aussi dans le courant des inducteurs, mais elles s'effacent dans la courbe du courant quand il devient fort.

L'examen des courbes 11 à 20 montre encore que la réaction sur les inducteurs change de fréquence suivant qu'on fait débiter une ou deux périodes. Les courbes 11 à 15 montrent une déformation croissante de la sinusoïde. Les courbes les plus intéressantes sont celles des figures 16 à 20 qui se rapportent au cas d'une seule phase chargée ; il se produit alors d'énormes distorsions, de sens inverse pour les deux phases, l'une devenant pointue tandis que l'autre s'aplatit. En

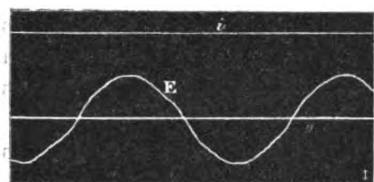


Fig. 5.

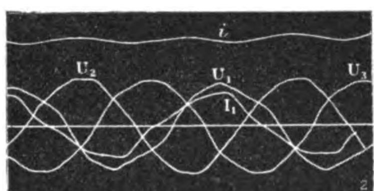


Fig. 6.

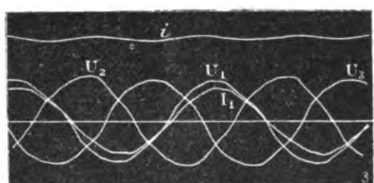


Fig. 7.

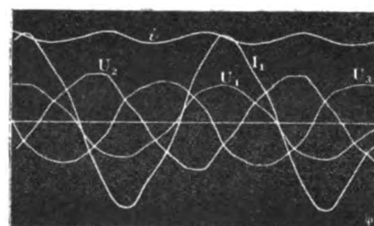


Fig. 8.

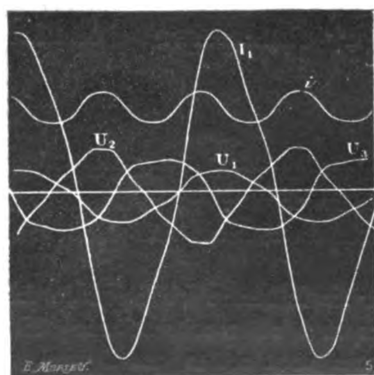


Fig. 9.

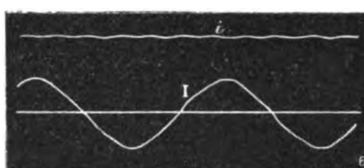


Fig. 10.

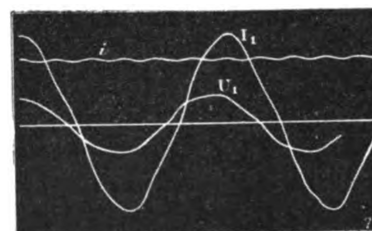


Fig. 11.

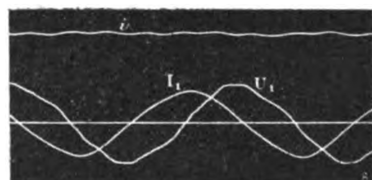


Fig. 12.

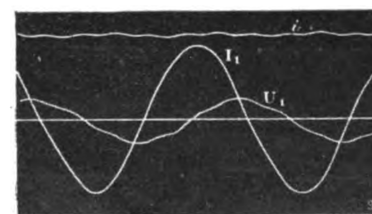


Fig. 13.

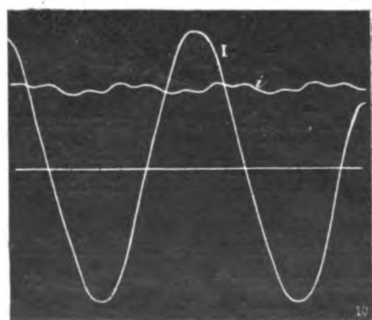


Fig. 14.

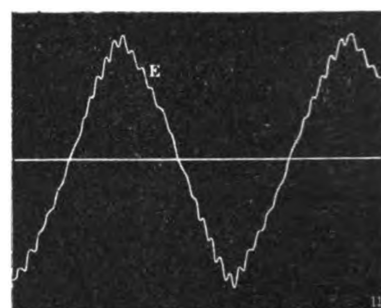


Fig. 15.

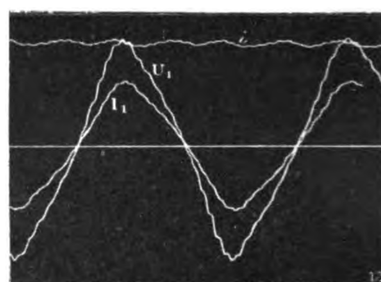


Fig. 16.

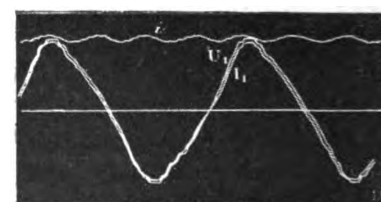


Fig. 17.

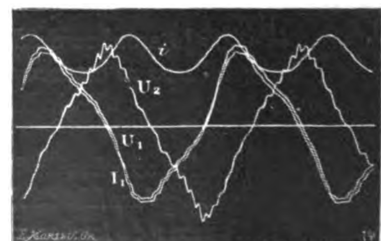


Fig. 18.

court-circuit figure 20, cette déformation de la seconde phase perd en même temps sa symétrie et s'exagère d'une façon vraiment inattendue, ainsi que la pulsation du courant inducteur.

On voit combien, grâce à l'emploi de l'oscillographe, il est facile de déceler des phénomènes secondaires importants [1]. Dans le cas que nous avons étudié, ces déformations ne paraissent pas modifier beaucoup la loi que suivent les valeurs efficaces, puisque les caractéristiques conservent

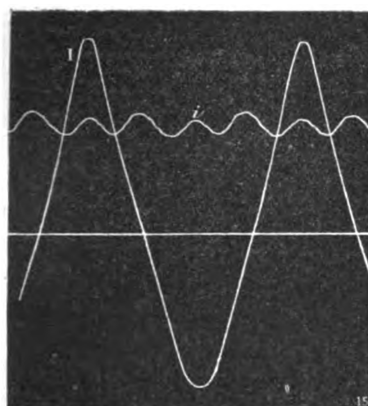


Fig. 19.

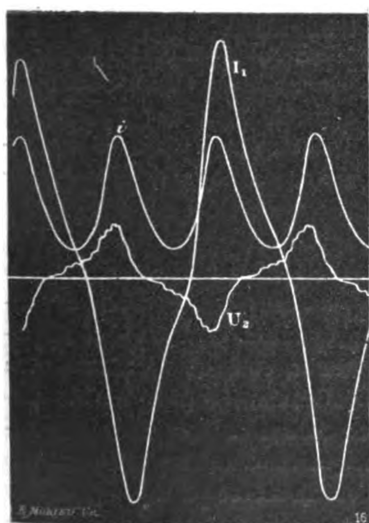


Fig. 20.

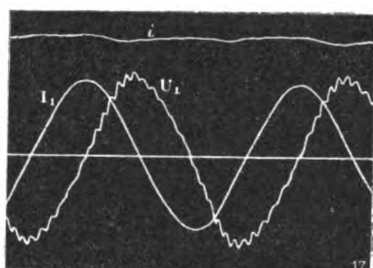


Fig. 21.

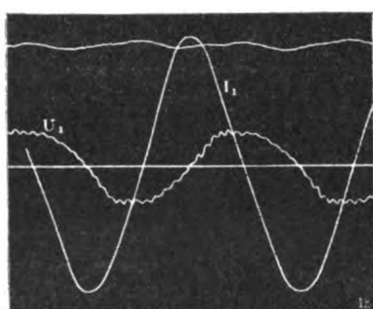


Fig. 22.

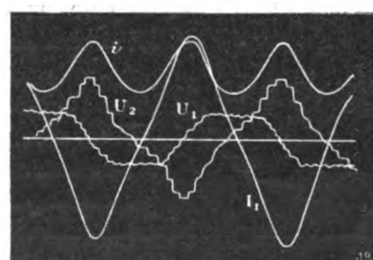


Fig. 23.

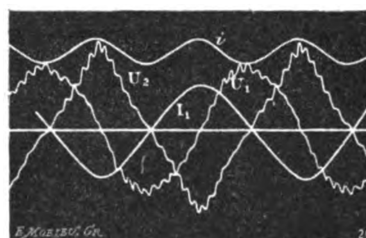


Fig. 24.

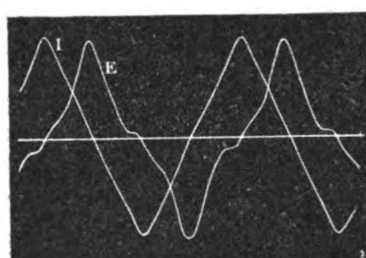


Fig. 25.

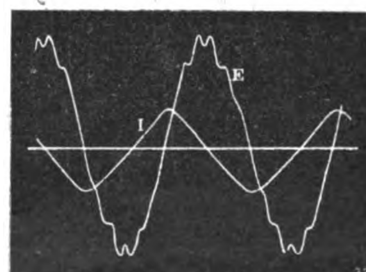


Fig. 26.

comme on l'a vu des formes normales, cela tend à justifier l'emploi général que l'on fait de l'hypothèse sinusoïdale pour les calculs, sans se préoccuper des déformations très grandes de la courbe avec la charge. On voit aussi combien est illusoire un calcul de la répartition du flux indicateur si l'on ne tient pas compte de l'effet de l'induit.

Mais ce n'est qu'en répétant de semblables essais sur de nombreuses machines qu'on pourra

[1] Il convient d'ajouter que les dentelures fines du genre de celles qu'on voit sur ces gravures (et qui sont encore plus nettes sur les *courbes originales*, (format 9 × 12 centimètres), ne peuvent être relevées par aucune méthode d'enregistrement stroboscopique.

en déduire des conséquences générales et formuler, s'il y a lieu des lois plus certaines sur ces déformations et leur influence efficace des variables.

Enfin, à titre de comparaison, nous mettons en regard des courbes précédentes celles de deux autres alternateurs connus, relevées à la même époque : l'alternateur Ganz du secteur rive gauche (fig. 25) et l'alternateur Labour, ancien type (fig. 26) ; nous publierons plus tard les courbes de tous les alternateurs de l'Exposition universelle de 1900.

ACCUMULATEURS MAX

Ces nouveaux accumulateurs que construit la Maison Ruphy et Cie se distinguent surtout par la fabrication presque entièrement mécanique de leurs électrodes. Celles-ci appartiennent au type Faure, à oxydes rapportés, et se rapprochent beaucoup, par leur forme, des électrodes Phénix [1]. Comme ces dernières, elles sont cylindriques, avec tige centrale ; mais les rondelles ont été remplacées par une tresse en amiante.

La figure 1 montre la constitution très simple de ces électrodes; A est une âme en fil de plomb antimonié laminé; B représente cette âme empâtée de matière active ; C est l'électrode terminée, recouverte de sa chemise d'amiante tressée.

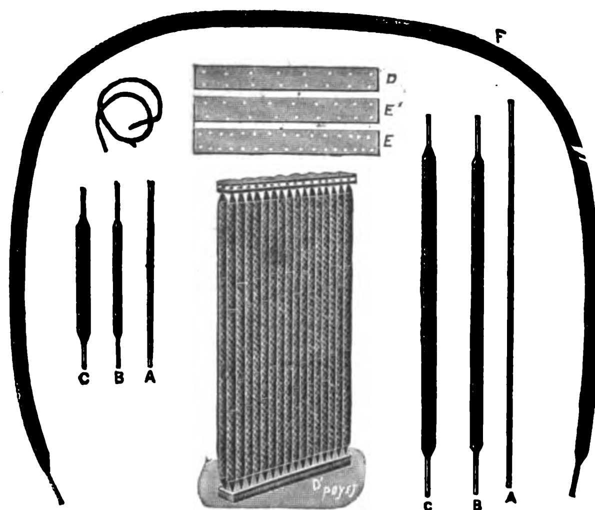


Fig. 1. — Electrodes Max.

Ces électrodes peuvent être construites sous les longueurs les plus variées : ABC se rapportent à une électrode de 80 mm de long; A'B'C' à une électrode plus longue, ayant 220 mm. Enfin, l'électrode F fabriquée simplement à titre de curiosité a une longueur dépassant de beaucoup celle que nécessitent les applications courantes.

Une machine ingénieusement combinée effectue l'empâtage des tiges et leur découpage à la longueur voulue. Cette machine, représentée en figure 2 et 3 se compose d'un cylindre en acier ayant environ 10 cm de diamètre intérieur et 60 cm de longueur et rempli de la pâte préparée d'autre part dans un malaxeur mécanique. La pâte, à base de litharge et d'acide sulfurique, est la même pour les positives et pour les négatives.

Le cylindre est amovible et peut être remplacé assez rapidement par un nouveau cylindre rempli de matière quand le premier est épuisé. Dans ce cylindre se meut un piston et le déplacement de celui-ci est provoqué par une tige filetée dont l'écrou fixe est actionné périodiquement au moyen d'engrenages et d'un cliquet, ainsi qu'il est nettement représenté sur les figures 2 et 3. On règle la course du cliquet d'après la quantité de matière débitée, et la pression à l'intérieur du cylindre est indiquée par un manomètre.

Pour la sortie de la matière, le cylindre est muni à son autre extrémité d'un ajutage horizontal perpendiculaire à son axe et dans le milieu duquel pénètre le fil de plomb. Celui-ci, enroulé sur un tambour, est pris par une pince animée d'un mouvement rectiligne alternatif. L'ajutage est

[1] *Éclairage Électrique*, t. XXII, p. 174.

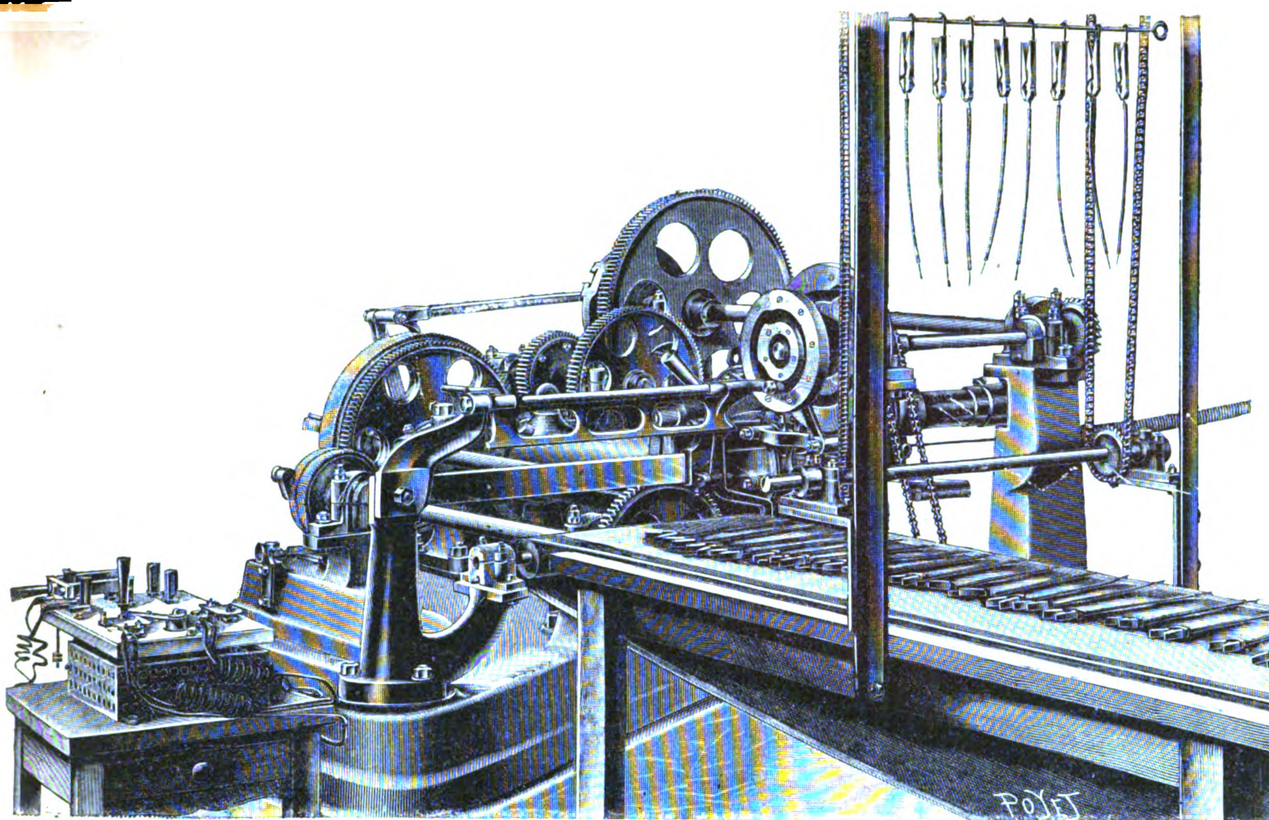


Fig. 2. — Machine à empâter et à couper les électrodes de longueur.

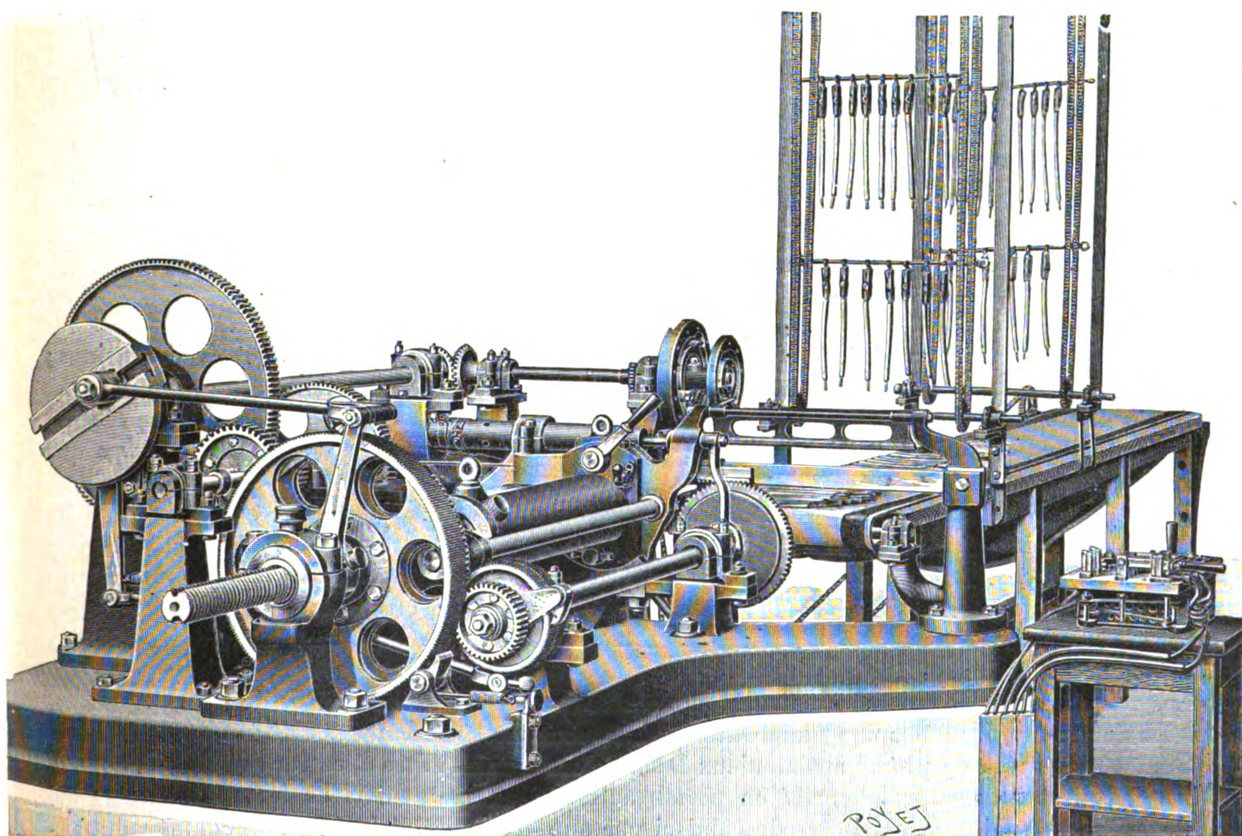


Fig. 3. — Machine à empâter et à couper les électrodes de longueur

terminé par un obturateur qui, lorsqu'il est fermé, ne laisse passer que le fil de plomb. Enfin, en avant de l'obturateur se meut une pince coupante.

Le fonctionnement de l'ensemble est tel que lorsque la pince saisit le fil de plomb, l'obturateur s'ouvre et le piston du cylindre avance. La pince tire alors le fil qui sort recouvert de matière jusqu'à ce que la longueur de l'électrode soit obtenue ; à ce moment le piston reste au repos et l'obturateur fermé ne laisse plus sortir que le fil seul qui doit dépasser d'une certaine longueur la matière empâtée afin de permettre les connexions. Quand cette longueur est atteinte, le fil est coupé et la pince, lâchant l'électrode à cet instant la laisse tomber sur une toile sans fin, pendant que le chariot de la pince, rappelé par un ressort avec amortisseur à air, recommence les mêmes opérations.

D'après les constructeurs, cette machine serait capable de produire, par minute, environ 40 électrodes

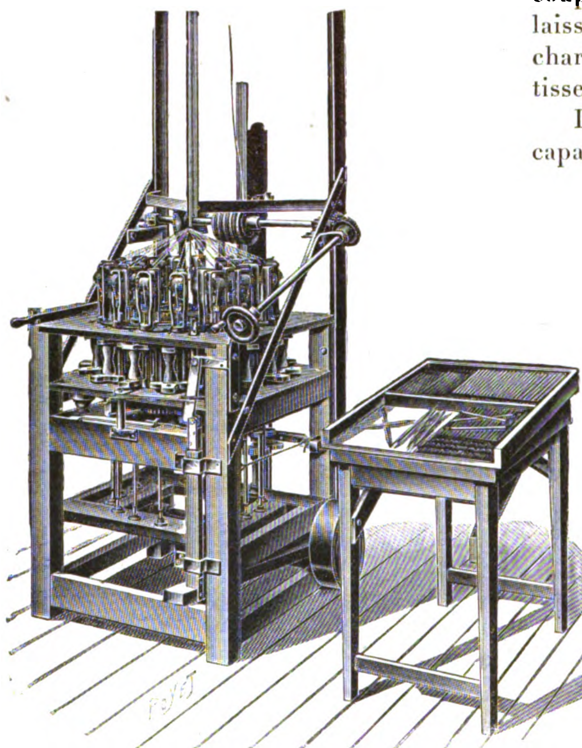


Fig. 4. — Métier à recouvrir les électrodes d'une chemise tressée en amiante.

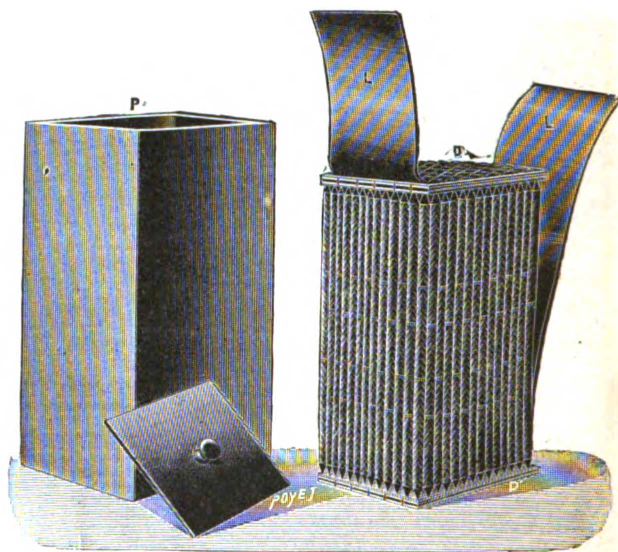


Fig. 5. — Bac en ébonite et faisceau d'électrodes.

de 220 mm de longueur empâtée et de 6 mm de diamètre, ou l'équivalent en autres dimensions ; et elle n'exigerait pour son fonctionnement qu'un homme et un aide.

Après séchage à l'air, l'électrode ainsi obtenue est recouverte, à l'aide d'un métier représenté en figure 4, d'une chemise tressée en amiante bleue, inattaquable et isolante, en même temps que très solide.

Pour l'assemblage de ces électrodes en un faisceau, on forme d'abord des tranches de deux rangées comme il est indiqué en T (fig. 1). Toutes les tiges traversent d'abord une première plaque en ébonite E. De deux en deux, toutes les tiges qui doivent être positives et connectées en bas sont repliées sur cette lame isolante, pendant que les tiges des électrodes négatives traversent une deuxième plaque d'ébonite E', puis sont soudées à la bande en plomb antimonieux D. La même opération est effectuée dans le bas.

Les tranches ainsi constituées sont assemblées en un faisceau (voir fig. 5) de telle façon que, dans les deux sens, les pôles des électrodes voisines sont alternativement positif et négatif.

Toutes les bandes en plomb antimonieux D sont alors réunies entre elles par soudure en haut et en bas et reliées à des lames L et L' en plomb antimonieux également. La lame positive L' qui monte le long du faisceau est isolée de celui-ci par une lame en ébonite. Après montage du fais-

ceau, il ne reste plus qu'à le rentrer dans son bac en ébonite P. Pour les connexions d'élément à élément, on peut souder entre elles la lame L d'un élément à la lame L' de l'élément suivant, ou bien encore fixer un boulon à chaque lame et relier ensuite par des connexions mobiles ordinaires.

Comme variante, on peut aussi disposer les électrodes sous forme de plaques en assemblant, comme il a été décrit plus haut, une rangée unique d'électrodes de même polarité.

Pour terminer, nous résumons dans le tableau suivant les principales caractéristiques, d'après le constructeur, d'un type courant de ces nouveaux accumulateurs.

Nature du bac.		Ébonite.
Dimensions extérieures du bac ébonite, en millimètres	longueur	217
	largeur	112
	hauteur	280
Hauteur totale de l'élément (connexions comprises), en millimètres		295
Poids approximatifs, en kilogrammes	du faisceau d'électrodes	10,56
	d'un élément complet (liquide compris)	16,90
Capacités en ampères-heures aux différents régimes de décharge :	en 10 heures	204
	en 5 »	180
	en 3 »	156

J. Reyval.

REVUE INDUSTRIELLE ET SCIENTIFIQUE

GÉNÉRATION

Sur la décharge des accumulateurs, par **S. A. Montel**, ingénieur à Turin. *Centralblatt f. Accumulatoren und Elementenkunde*, t. II, p. 233, 1er septembre 1901.

Le peroxyde poreux de la plaque positive se transforme en sulfate à la décharge et de telle manière que les couches de sulfate avancent peu à peu de l'extérieur vers l'intérieur de la plaque

Au commencement de la décharge, il se forme donc une quantité de sulfate de plomb à l'entrée de chaque pore qui alors se rétrécit.

L'action chimique se continuant à l'intérieur de la plaque, les ouvertures des pores deviennent de plus en plus petites jusqu'à ce que toute la quantité de peroxyde, qui est dans leur voisinage, se soit transformée.

Considérons un pore de forme cylindrique dont la coupe est représentée par ABCD en figure 1. Pendant la décharge, la sulfatation provoque une diminution de volume de ce pore dont les limites deviennent MpC et DqN. Quand les points M et N viennent se rencontrer en O, l'ouverture est bouchée. Lorsque ce fait arrive pour tous les pores, on peut conclure que la capacité de la plaque est alors épuisée.

Cette manière de voir est justifiée par ce fait que l'épuisement des plaques positives, particu-

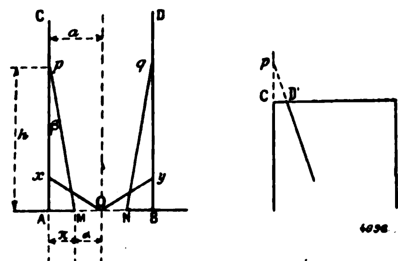


Fig. 1 et 2.

lièrement les plaques Faure, est causé principalement par le manque d'acide à l'intérieur de la matière ; cela ne veut pas dire que les pores sont complètement bouchés, mais que la diffusion de l'acide est rendue extrêmement difficile.

En considérant les choses d'un peu plus près, on constate d'abord que la surface totale des

pores est beaucoup plus grande que la surface extérieure de la plaque et que cette dernière peut être négligée devant la première.

Posons alors $Ap = h$, $AM = \pi$, $AO = a$ et $MO = \alpha$.

La variation de volume v que subissent les pores pendant le temps t depuis le commencement de la décharge peut s'exprimer par

$$v = Kit, \qquad (1)$$

i étant l'intensité ; ou bien encore par

$$v = Kc, \qquad (2)$$

si on rapporte le temps t à l'épuisement de la plaque et qu'on appelle c la capacité de la quantité de matière active qui entoure les pores considérés.

Cherchons maintenant la fonction

$$h = f(t) \qquad (3)$$

d'après laquelle l'action chimique pénètre à l'intérieur.

Nous pouvons supposer que le point M se meut sur la ligne droite OA d'après la même loi. Il est évident, en effet, qu'au fur et à mesure que le point M s'éloigne de A, la vitesse de son mouvement diminue, parce que le sulfate de plomb déjà formé autour de l'ouverture des pores rend plus difficile la formation de nouveau sulfate, le contact entre l'acide et le peroxyde étant ainsi contrarié.

Mais, simultanément, les mêmes difficultés se présentent pour la pénétration de l'acide vers l'intérieur, car la section des pores devenant de plus en plus petite, la diffusion de l'acide devient de moins en moins active. On est donc en droit de supposer qu'une même loi relie les deux phénomènes.

En appelant β l'angle ApM, on a $\operatorname{tang} \beta = \frac{\pi}{h}$ et, par suite,

$$\pi = f(t) \operatorname{tang} \beta \qquad (4)$$

$$\alpha = a - f(t) \operatorname{tang} \beta \qquad (5)$$

En remplaçant $K\,i$ par la constante K' il vient alors

$$v = K't. \qquad (6)$$

D'autre part, la variation de volume v est donnée géométriquement et est égale à

$$v = h\pi a^2 - \frac{h}{3}\left(\pi a^2 + \pi\alpha^2 + \sqrt{\pi a^2 \pi\alpha^2}\right). \qquad (7)$$

Des équations (3), (5), (6) et (7), on tire aisément l'équation

$$f^3(t) - \frac{3a}{\operatorname{tang} \beta} f^2(t) + \frac{3K't}{\pi \operatorname{tang}^2 \beta} = 0. \qquad (8)$$

Sans vouloir aller plus loin, ce qui compliquerait trop les formules pour être intéressant, on peut seulement remarquer que $f(t)$ croît avec t, mais que cette augmentation devient successivement plus lente.

Les pores ont été jusqu'ici considérés comme illimités dans le sens de la longueur. En réalité, il y a lieu de considérer la surface terminale intérieure CD (fig. 2). En fait, quand l'action chimique arrive en CD', la situation est la même que lorsqu'elle a lieu sur Cp. Comme $CD' < Cp$, l'acide parvient plus rapidement en D' qu'en p. Il en résulte que tang β aurait ainsi tendance à diminuer ; mais, en réalité, cette action devient très petite, car elle se produit au moment de l'épuisement de la plaque.

Tang β varie aussi avec la densité du courant de décharge.

En appliquant les formules ci-dessus dans le cas d'une décharge complète pour laquelle $\alpha = 0$, on obtient

$$v = \frac{2}{3} h\pi a^2 = \frac{\frac{2}{3}\pi a^3}{\operatorname{tang} \beta}. \qquad (9)$$

Si la densité de courant augmente, tang β doit croître aussi. Dans ce cas, la différence de concentration entre l'acide à l'entrée des pores et l'acide à l'intérieur, augmente et il se forme une quantité de sulfate proportionnellement plus grande à l'entrée des pores. L'action chimique ne commencera à l'intérieur des pores que lorsqu'une certaine égalisation existera entre les difficultés de formation d'une nouvelle quantité de sulfate, par suite, d'une part, du sulfate existant déjà à l'entrée et d'autre part, par suite du manque d'acide à l'intérieur.

Dans le cas de faibles intensités de décharge, tang β possède déjà une valeur relativement élevée, parce que l'action chimique a lieu pendant un plus long temps seulement à l'entrée des pores.

Si on appelle S la valeur que possède tang β lorsque la formation de sulfate commence à varier avec le courant de décharge et $F(i)$ une fonction de i, on a

$$\operatorname{tang} \beta - S = F(i) \qquad (10)$$

Le nombre total des pores étant égal à N, la variation du volume total V et la capacité totale C deviennent égaux à

$$V = Nv \quad \text{et} \quad C = Nc.$$

Par suite

$$V = \frac{\frac{2}{3}\pi a^3 N}{S + F(i)}, \tag{11}$$

et

$$C = \frac{\frac{1}{K}\frac{2}{3}\pi a^3 N}{S + F(i)}, \tag{12}$$

ou encore, R étant une constante,

$$C = \frac{R}{S + F(i)}, \tag{13}$$

formule qui donne la variation de capacité d'une plaque positive en fonction de l'intensité. On peut considérer que la plaque négative est régie par une loi semblable, de telle sorte que la variation de capacité d'un accumulateur, en fonction de l'intensité du courant de décharge, peut s'exprimer par

$$C = \frac{P}{Q + \varphi(I)} \tag{14}$$

P et Q étant des constantes et φ (I) une fonction de l'intensité I de décharge.

En faisant

$$\tang \beta = Q + \delta I, \tag{15}$$

δ étant une constante, on a, d'après (14)

$$C = \frac{P}{Q + \delta I}, \tag{16}$$

que l'on peut écrire

$$C = \frac{\gamma}{\gamma + aI}, \tag{17}$$

γ et a étant des constantes et on retrouve ainsi la formule empirique donnée par Liebenow pour les faibles densités de courant de décharge. Quand on a affaire à de fortes intensités de courant tang β devient très grand et l'ouverture des pores est obstruée par la couche de sulfate AxO, OyB (fig. 1) qui s'oppose à la diffusion et la formule (15) n'est plus valable. Liebenow donne alors dans ce cas la formule empirique

$$C = \frac{A}{1 + \frac{B}{\sqrt{t}}} \tag{18}$$

dans laquelle A et B sont des constantes et t le temps de décharge. On reconnaît facilement que par l'augmentation de la densité de courant, $\frac{1}{\sqrt{t}}$ de (18) croît plus lentement que I de (17) ce qui s'accorde pleinement avec les observations ci-dessus relatives à la formule (15).

Bien entendu, ces différentes équations (17) et (18) ne sont valables que pour les intensités de décharge constantes.

L. Jumau.

Usine hydraulique de Montmorency Falls (Canada).

La rivière Montmorency, qui prend sa source dans le Snow Lake, vient, après un parcours d'environ 120 km, se jeter dans les eaux du Saint-Laurent produisant une chute de 86,20 m capable de développer une puissance de 10 000 chevaux même à l'époque de plus forte sécheresse.

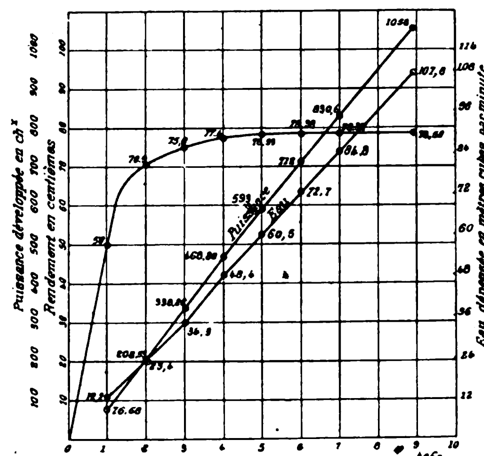


Fig. 1. — Courbes relatives aux turbines Victor.

Cette chute est utilisée par la Quebec Railway Light and Power Company, de Québec, qui a fait construire et équiper une usine hydraulique fonctionnant depuis plusieurs années déjà.

Le barrage établi sur la rivière a la forme d'un rhomboïde dont la paroi verticale fait face au courant. Il est construit dans des conditions lui permettant de résister à des crues soudaines ou accumulations de glaces pendant l'hiver. Ses dimensions sont : longueur 79,50 m entre piles de rive, hauteur 5,40 m, épaisseur 6,60 m à la base et 2,40 m à la partie supérieure. Le revêtement extérieur, d'une épaisseur de 30 cm, est

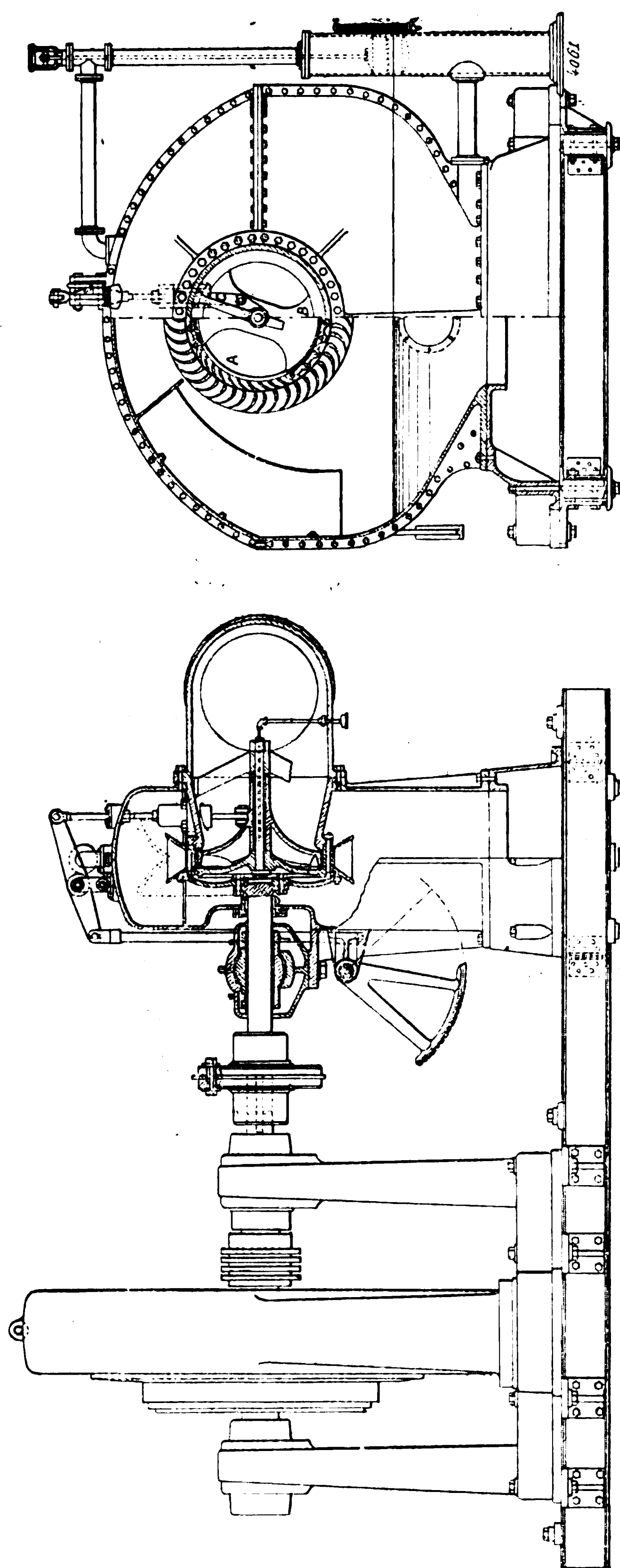


Fig. 2 et 3. — Coupes d'une turbine Victor de 1000 chevaux.

formé d'un béton composé de : une partie de ciment de Portland, deux de sable et trois de pierres. Le béton de l'intérieur se compose de : une partie de ciment, trois de sable et cinq de pierres.

Pour éviter l'obstruction des vannes et aussi la fatigue du barrage par l'accumulation des débris de toute sorte, glaçons, etc., charriés par la rivière, on a construit, entre les deux rives en amont du barrage proprement dit, un autre barrage flottant lesté par des pierres dont le but est d'arrêter et de détourner du réservoir tous corps flottants à la surface.

L'installation de la conduite d'amenée a été faite au prix d'assez sérieuses difficultés, les rives du Saint-Laurent, où se trouve l'usine, étant séparées de la chute par un versant de colline abrupt, d'une hauteur d'environ 90 m presque à pic, semé de roches énormes et de ravins dangereux. Les tuyaux sont en acier rivé de première qualité et sont assemblés par des colliers à double rivetage. La longueur totale de la conduite, du barrage à l'usine, est de 78,25 m; le diamètre des tuyaux est de 2,40 m, et leur épaisseur de 6 mm, sur une longueur de 45,25 m à partir du barrage ; sur les 33 m restants, leur diamètre est de 1,80 m et leur épaisseur de 9 mm ; près des turbines mêmes, celle-ci est de 12,5 mm.

Quand toutes les turbines fonctionnent à pleine charge, la vitesse de circulation de l'eau dans la conduite est de 1,50 m : seconde. Aussi, pour éviter que les variations de la circulation, dues aux charges irrégulières que supportent les génératrices alimentant un service de traction, ne fatiguent la conduite, on a branché sur cette dernière, à une vingtaine de mètres de l'usine, un tuyau en acier de 1,80 m de diamètre qui s'élève verticalement à 45 m de hauteur. Un autre tuyau semblable, mais de 1,20 de diamètre et de 13,50 m de hauteur est branché sur un autre point de la conduite et sert à équilibrer l'action du premier. Les deux sont protégés par une enveloppe extérieure qui laisse une couche d'air de 10 cm d'épaisseur autour du tuyau central pour éviter la congélation de l'eau en hiver.

Ce dispositif a, paraît-il, donné d'excellents résultats et serait préférable aux valves automatiques ordinairement employées pour contrebalancer les fluctuations.

Le matériel de l'usine comprend 5 unités pour la génération du courant et 2 petites unités pour la production du courant d'excitation.

Les turbines qui font partie de ce matériel, sont d'un type construit et mis en usage pour la première fois ; elles sont désignées sous le nom de Victor High Pressure Wheel et constituent, d'après les résultats donnés, le type idéal pour les chutes de grande hauteur. Les essais officiels de rendement sont consignés dans le diagramme 1.

Chaque turbine a une puissance de 1 000 chevaux sous une hauteur de chute de 78 m. Les deux sections transversale et longitudinale que représentent les figures 2 et 3 permetteront au lecteur de se rendre aisément compte de sa construction et de son fonctionnement. L'eau pénètre au centre d'un anneau A (fig. 3) pourvu

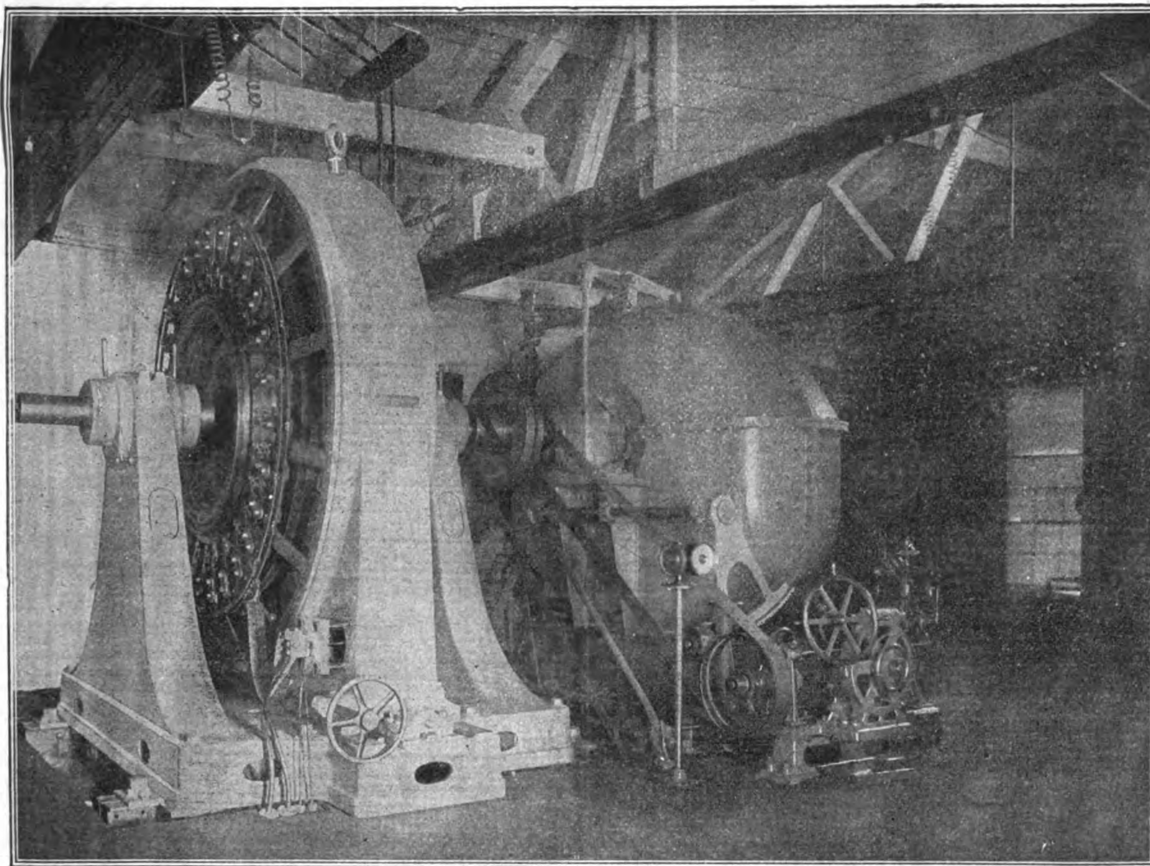


Fig. 4. — Vue côté turbine d'un groupe électrogène de 1000 chevaux.

extérieurement de lames-guides qui conduisent l'eau aux lames courbes ou godets de la roue extérieure motrice. L'admission de l'eau dans cette dernière est réglée par un segment-vanne B qu'un levier C relie à l'appareil régulateur extérieur. Chaque turbine est aussi pourvue d'une chambre à air dont la fonction est de maintenir le niveau de l'eau sous la roue motrice indépendamment de la manœuvre du segment-vanne.

Le diamètre de la roue motrice est de 1,125 m; sa vitesse angulaire est de 286 t : m. Le réglage automatique de la vitesse s'effectue à l'aide de régulateurs électromécaniques Geisler qui réduisent les variations à une valeur ne dépassant pas 2 p. 100 pour l'éclairage à incandescence, et 3 p. 100 pour la traction.

Le matériel générateur se compose de 5 machines entraînées directement par les turbines (fig. 4 et 5). Quatre d'entre elles sont du type alternateurs S. K. C. produisant individuellement 600 kilowatts en courants diphasés à 5 500 volts pour une vitesse angulaire de 286 tours par minute. La cinquième machine, installée depuis quelqus mois seulement, est un

générateur à double courant de la Westinghouse Electric C° produisant 600 kilowatts en courants alternatifs diphasés à 400 volts et en courant continu à 550 volts.

Le courant alternatif de ce générateur est porté à une tension de 11 000 volts par des transformateurs et transmis, par une ligne aérienne à trois fils, à Sainte-Anne de Beaupré distante d'environ 24 km de l'usine, où il est transformé par des convertisseurs rotatifs en courant continu à 550 volts pour l'alimentation d'un réseau de tramways dont une ligne passe à proximité de l'usine. Cette portion du fil à trôlet est alimentée directement de l'usine par le courant continu produit par le même générateur.

Les 4 alternateurs S. K. C. produisent du courant qui est utilisé à Québec pour les besoins de l'éclairage, de la force motrice et de la traction. Ils ont chacun un tableau de distribution indépendant pourvu de tous les appareils de contrôle, de mesure et de protection, ainsi que d'un commutateur spécial à l'aide duquel le courant de chaque alternateur peut être lancé indistinctement sur l'un ou l'autre des circuits d'éclairage, de force motrice ou de traction.

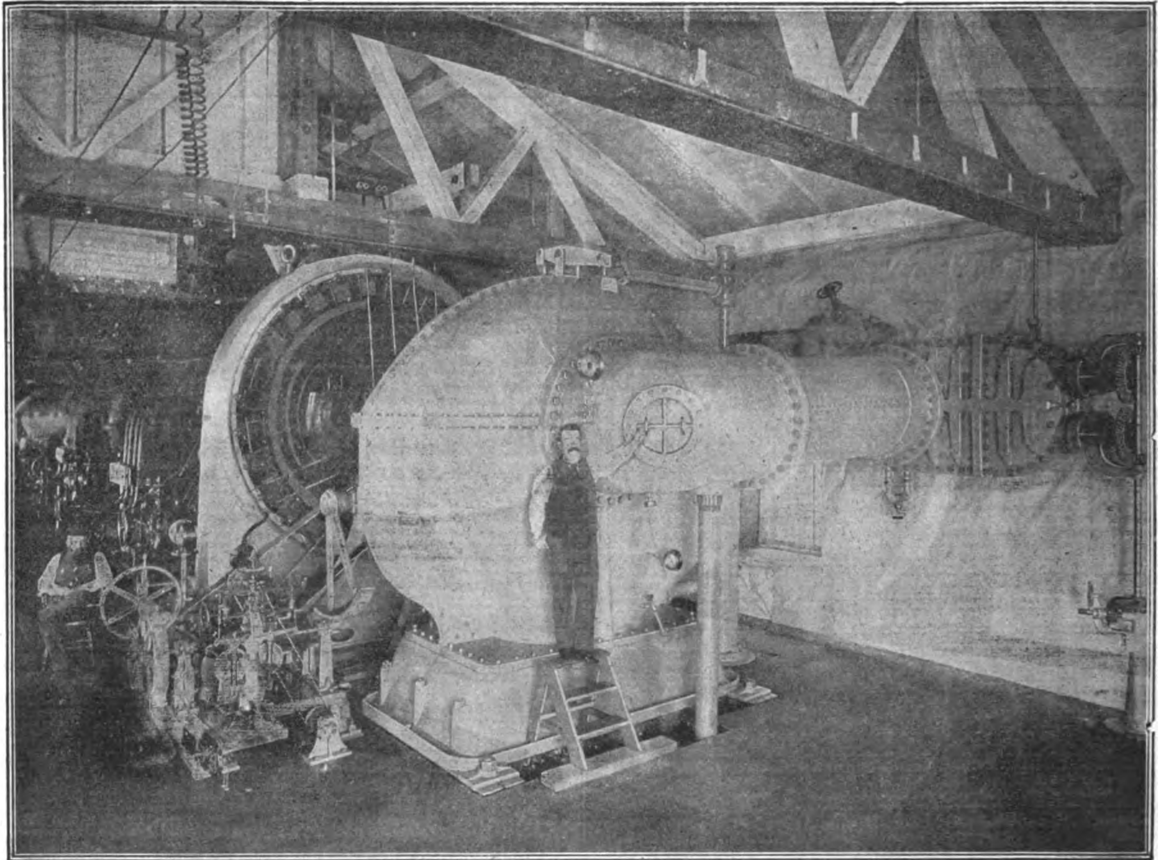


Fig. 5. — Vue côté alternateur d'un groupe électrogène de 1000 chevaux.

Le courant d'excitation est fourni par deux dynamos et distribué aux alternateurs par les appareils d'un tableau spécial.

Les appareils de protection employés dans l'usine sont des parafoudres Wurts de forme pyramidale avec bobines de réactance. Ils sont efficaces jusqu'à 15 000 volts. L. Duet.

MOTEURS

Mesure du glissement d'un moteur asynchrone au moyen du tube de Braun, par **Alfred Schweitzer.** *Elektrotechnische Zeitschrift*, p. 947, 14 novembre 1901.

Le tube cathodique de Braun [1] permet de

[1] Voir dans *L'Éclairage Électrique*, t. XX, p. 131, une

faire une mesure, très exacte et relativement simple, du glissement d'un moteur asynchrone. A peu près tous les laboratoires possèdent ce tube ; il n'est donc pas sans intérêt de publier un procédé encore inconnu, susceptible de rendre de grands services.

C'est J. Zenneck qui a montré qu'avec un tel tube on peut évaluer très facilement les variations de la fréquence d'un courant alternatif. Pour cela, il actionne la bobine, au moyen d'un interrupteur à diapason, qui donne un nombre *n* bien déterminé de décharges par seconde. L'axe du tube, dans cette expérience, est disposé perpendiculairement à un champ tournant engendré par le courant à étudier lui-même. Si l'interrupteur est réglé de telle sorte que la période de vibration du diapason soit synchrone de celle du courant alternatif ou n'en diffère que d'un multiple exact, on aperçoit sur l'écran phosphorescent une ou plusieurs taches lumineuses parfaitement immobiles. Si la fréquence vient à changer, les taches lumineuses se déplacent en décrivant un cercle de telle sorte qu'elles accomplissent une révolution complète pour une variation de la fréquence égale à ± 1.

Avec une légère variante ce dispositif se prête à la mesure du glissement d'un moteur asynchrone. Pour cela, d'une part, on produit le champ tournant avec les courants alternatifs mêmes qui alimentent le stator, et, d'autre part, on accouple directement un interrupteur rotatif à l'arbre de l'induit. Or la méthode la plus simple pour obtenir ce champ tournant est celle indiquée par Braun [1] lui-même. Elle consiste à prendre une ou deux bobines avec noyaux munis de prolongements polaires en forme de crochets plus ou moins ouverts, sur lesquels on enfile des bobines en fil cuivre fermées sur elles-mêmes ; ce qui donne un champ tournant presque circulaire. Sur la paroi du tube et derrière l'écran phosphorescent, on colle une feuille de papier sur laquelle est tracée une circonférence divisée en dix parties environ. Le tout est enveloppé dans un cylindre de carton noir complètement fermé, sauf une petite ouverture pour placer l'œil ; on n'est donc pas troublé par la lumière extérieure pendant l'expérience. L'interrupteur peut être un interrupteur à mercure de construction tout à fait rudimentaire. Par exemple, on adapte à l'arbre du moteur une tige dont une des extrémités est terminée par trois pointes qui servent précisément à la fixer. Perpendiculairement à cette tige horizontale, on en dispose une deuxième qui, à chaque tour, vient plonger dans un bain de mercure disposé au-dessous et ferme ainsi le primaire de la bobine. Ou bien encore, on se contente de fixer à l'axe d'un petit compte-tours le disque dont s'est servi Joubert [1] pour l'étude des courants alternatifs, mais avec une légère variante dans le dispositif due à C. Sleibt.

La mesure se réduit maintenant à compter au tachymètre le nombre de tours N du moteur correspondant à un nombre Z de tours des taches lumineuses dans un même temps t, qu'on peut d'ailleurs supposer égal à une seconde. Soit p le nombre de paires de pôles du stator, la fréquence du rotor est pN ; celle du stator $pN + Z$, puisque les fréquences diffèrent d'un nombre égal au nombre de révolutions des taches lumineuses. Par définition du glissement, on a :

$$\sigma = \frac{pN + Z - pN}{pN + Z} = \frac{Z}{pN + Z}.$$

L'œil peut compter facilement 6 rotations des taches par seconde ; il est donc possible, pour une fréquence égale à 50 par exemple, d'évaluer des glissements jusqu'à 12 p. 100, résultat bien suffisant dans la plupart des cas. Cette méthode est d'ailleurs très sensible, car, pour les faibles glissements ou autrement dit quand la vitesse du rotor est voisine du synchronisme, on peut saisir avec une grande exactitude le moment précis où les taches lumineuses ont accompli une révolution complète.

T. Pausert.

Essai d'un moteur électrique sans dynamomètre, *American Electrician*, vol. XIII, n° 10, octobre 1901.

La méthode la plus connue pour mesurer le rendement d'un moteur électrique consiste à faire supporter à ce dernier une charge artificielle au moyen d'un frein dynamométrique ; on

application du tube de Braun à l'étude des courants variables.

[1] *Elektrotechnische Zeitschrift*, t. XIX, p. 204, 1898.

[1] Rappelons qu'il a été question de ce dispositif de M. Joubert dans le n° du 16 novembre, p. 238, à propos de l'indicateur du Dr Rudolph Franke.

mesure, d'une part, la puissance développée par le moteur et d'autre part la puissance électrique en watts fournie au moteur par le circuit d'alimentation ; on multiplie les kilogrammètres par le nombre de tours par seconde, on réduit le produit en watts et on divise ce nombre par le nombre de watts fournis au moteur ; on obtient ainsi le pourcentage du travail absorbé que le moteur est capable de transformer en travail utile. Cette méthode est assez simple, et si l'on possède un frein de Prony dans lequel on puisse avoir confiance, et dont on ait expérimenté l'usage, elle ne laisse rien à désirer.

Les directeurs de stations centrales, qui n'ont pas à essayer un nombre de moteurs assez grand pour justifier la dépense d'achat et l'emploi d'un bon frein dynamométrique, et qui ont pourtant, de temps à autre, l'occasion d'essayer un moteur, trouveront la méthode ci-dessous très utile.

1° On connecte le moteur avec un circuit d'alimentation de même voltage, ou de voltage un peu plus élevé que celui pour lequel le moteur est calculé ; on monte une résistance réglable en série avec la machine, et un ampèremètre dans le circuit de l'induit. On fait tourner le moteur à vide avec toute la résistance du rhéostat de démarrage hors circuit, et on règle la résistance auxiliaire jusqu'à ce que le voltage aux bornes du moteur soit précisément égal au voltage calculé de la machine : désignons ce voltage par E, on mesure alors le courant de l'induit, dont nous représentons la valeur par c ;

2° Immédiatement après, on arrête le moteur, on cale l'arbre de l'induit pour qu'il ne puisse pas tourner et on relie de nouveau les balais du moteur au circuit, à travers la résistance qui permet de ramener le courant de l'induit à la valeur c qu'il avait lorsque l'induit tournait à vide. On mesure ensuite le voltage aux balais : représentons-le par v. Retranchons ce voltage du voltage calculé E et multiplions par c la différence : le résultat sera, en watts, l'expression des pertes dans l'intérieur de l'induit, et des pertes par frottement,

$$(E - v)\,c = w,$$

et l'on pourra prendre, sans grande erreur, la résistance de l'induit égale à :

$$\frac{v}{c} = r.$$

En faisant l'essai qu'on vient de décrire, il faut prendre soin d'éviter que le courant de l'induit ne dépasse à un moment donné la valeur c obtenue lors de la marche à vide.

Si maintenant, on désigne par W la puissance calculée du moteur réduite en watts, la formule ci-dessous donnera l'intensité du courant dans l'induit pour laquelle cette puissance calculée est obtenue réellement :

$$C = \frac{E - \sqrt{E^2 - 4(W + w)r}}{2r} \text{ [1]} \qquad (1)$$

Le rendement du moteur sera alors évidemment :

$$\frac{100\,W}{E\,(C + C_f)} = \text{p. 100 effectif.} \qquad (2)$$

où C_f représente le courant dans l'enroulement inducteur à la tension indiquée, qui peut être mesuré rapidement.

Exemple

Un moteur à 220 volts calculé pour fournir une puissance de 10 chevaux donne les valeurs suivantes :

Courant dans l'induit en marche à vide . . .	2,4 amp.
Courant du champ (inducteurs)	1,1 »
Tension aux balais, l'induit étant arrêté . . .	0,75 volt.

Ces chiffres nous conduisent aux valeurs suivantes pour les symboles employés dans la formule (1) :

$$E = 220 \text{ volts}$$
$$W = 7\,460$$
$$c = 2{,}4$$
$$v = 0{,}75$$
$$w = 219{,}25 \times 2{,}4 = 510$$
$$r = \frac{0{,}75}{2{,}4} = 0{,}3125$$
$$C_f = 1{,}1$$

$$C = \frac{220 - \sqrt{48.400 - 4\,(7\,460 + 510)\,3125}}{0{,}625} = 38{,}31 \text{ amp.}$$

---

[1] Cette formule est tirée de l'équation

$$W = CE - w - C^2 r$$

ou

$$C^2 r - CE + W + w = 0,$$

d'où

$$C = \frac{E + \sqrt{E^2 - 4(W + w)r}}{2r}$$

Ceci est l'intensité du courant dans l'induit, à pleine charge ; le rendement calculé d'après la formule (2) sera :

$$\frac{746\,000}{220\,(38{,}31 + 1{,}1)} = 86 \text{ p. 100 environ.}$$

(le chiffre exact étant 86,037).

La formule (1) peut être ramenée à une forme un peu plus simple pour simplifier les calculs :

$$C = \frac{E}{r}\left[\frac{1}{2} - \sqrt{\frac{1}{4} - \frac{r(W+w)}{E^2}}\right].$$

Ces formules pour le courant à pleine charge, sont établies en supposant que les pertes intérieures dans le fer de l'induit, les pertes par frottement et les pertes par courants de Foucault dans l'enroulement et les pièces polaires, restent toutes constantes entre la marche à vide et la marche à pleine charge. Cela n'est pas rigoureusement exact, mais l'erreur introduite dans les calculs est pratiquement négligeable.

La méthode ci-dessus décrite est, présentée un peu différemment, la méthode de Swinburne généralement appliquée.

G. Roesch.

DIVERS

Contribution à l'étude des rayons cathodiques, par **W. Seitz.** *Dr. Ann.*, t. VI, p. 1-34, septembre 1901.

Les rayons cathodiques sont reçus sur un récepteur formé par une boîte d'aluminium dont le fond antérieur présente une ouverture de 3 mm de diamètre. Ce récepteur est en communication avec le sol par l'intermédiaire d'un galvanomètre : on mesure l'intensité des rayons par l'intensité du courant qui traverse le galvanomètre.

Sous l'incidence normale, l'intensité du faisceau diffusé par une anticathode décroît à peu près comme le cosinus de l'angle de diffusion, plus rapidement toutefois : cette loi s'applique à tous les métaux étudiés.

Si l'incidence est oblique, les résultats varient avec la nature du métal qui forme l'anticathode. On peut représenter la marche du phénomène en construisant des courbes dont les abscisses sont proportionnelles aux angles de diffusion et les ordonnées aux déviations du galvanomètre. Pour l'aluminium, le zinc, le cuivre et le fer, les courbes ont la même allure : l'intensité des rayons diffusés croît avec l'angle de diffusion et passe par un maximum, pour un angle voisin de 20°. Avec le platine et l'argent, la courbe présenterait son point le plus élevé du côté des angles négatifs. L'intensité des rayons diffusés croît notablement avec l'angle d'incidence dans le cas de l'aluminium, moins dans le cas du cuivre, du fer et du zinc : avec l'argent, elle est constante et avec le platine, elle décroît quand l'angle d'incidence augmente.

En admettant que l'absorption se fait de la même manière dans toutes les couches d'une lame métallique mince, on représenterait l'intensité I des rayons qui traversent la lame par la formule :

$$I = I_0 e^{-\alpha\delta}(1 - k),$$

k étant le coefficient de diffusion sur la surface de la lame, α le coefficient d'absorption, e l'épaisseur.

Les expériences ne vérifient pas cette formule : la valeur de α n'est pas constante, mais dépend de l'épaisseur de la lame. L'absorption dépend aussi beaucoup de la différence de potentiel entre la cathode et le sol.

D'après Lénard, des lames de métal différent, mais ayant la même masse par unité de surface absorbent la même fraction de rayons cathodiques : cette loi n'est vraie que pour une première approximation.

M. Streitz a mesuré la vitesse v des particules cathodiques et le rapport $\frac{\varepsilon}{m}$ de leur charge électrique à leur masse mécanique, en comparant la déviation magnétique et la déviation électrostatique : il a trouvé :

$$v = 0{,}703\ 10^{10} \qquad \frac{\varepsilon}{m} = 0{,}645.10^7.$$

M. L.

SOCIÉTÉS SAVANTES ET TECHNIQUES

SOCIÉTÉ INTERNATIONALE DES ÉLECTRICIENS

Séance du 4 Décembre 1901.

M. **Rateau** prend la parole pour une discussion sur les communications de MM. Leblanc, David et Boucherot faites dans la séance de novembre et relatives au ***coefficient d'irrégularité des machines***.

M. Rateau adresse d'abord deux critiques à ces communications :

1° Il n'a pas été tenu compte des variations du couple résistant et on n'a considéré que celles du couple moteur. Or dans le cas d'alternateurs à un faible nombre de pôles, il en résulte un terme qu'on n'a pas introduit dans la série de Fourier, et qui cependant n'est pas négligeable.

2° On n'a pas considéré le cas de deux alternateurs fonctionnant en parallèle.

Disons de suite que M. Boucherot a réfuté cette dernière assertion en signalant que ce dernier cas a été envisagé par lui et qu'on le trouvera traité dans le *Bulletin* de novembre ; s'il n'en a pas été question dans la dernière séance, c'est à cause du manque de temps.

Quant à la première objection, M. Boucherot la combat et montre que dans le cas des alternateurs ordinairement employés, si on se place dans les conditions les plus défavorables : faible fréquence (25 périodes par seconde, par exemple) et grande vitesse de la machine, on ne peut descendre ainsi au-dessous de 10 comme nombre de pôles ; dans ces conditions, le terme correctif dû aux variations du couple résistant devient négligeable.

M. Rateau insiste spécialement sur la mesure de l'angle θ.

Il reproche à la méthode de M. David son manque de précision et aussi de ne pas donner la variation de θ avec le temps. Il considère que pour mesurer cet angle, de l'ordre du demi degré, il est indispensable de le multiplier ; il indique pour cela l'emploi des engrenages que l'on sait tailler maintenant avec suffisamment de précision (à 1/20 de millimètre) pour espérer obtenir la valeur de θ à 1/15 près.

D'après l'orateur la méthode de Cornu doit être la meilleure ; cependant elle ne peut donner de bons résultats qu'entre les mains de physiciens exercés. Aussi M. Rateau a-t-il cherché à la rendre plus mécanique. Ceci devient possible si on applique la multiplication.

L'appareil proposé comprend un arbre rigide relié à la machine à étudier et qui porte un engrenage tronconique ; dans son prolongement, un autre arbre actionné par un moteur synchrone commande également un autre engrenage tronconique. On sait que dans ces conditions, un équipage satellite placé entre ces deux engrenages reste immobile quand les deux arbres tournent à la même vitesse et dans le cas contraire prend un mouvement dont la vitesse est moitié de la différence des vitesses des deux arbres.

L'axe de l'équipage satellite prendra alors un balancement qu'on pourra mesurer avec d'autant plus de précision que cet axe sera long. On conçoit qu'on puisse également enregistrer les déplacements sur un cylindre. Pour comparer deux alternateurs entre eux, on montera chacun d'eux sur les deux arbres.

Dans la discussion qui suit cette communication, M. Cornu mentionne qu'avec sa méthode photographique, on peut obtenir une assez grande précision ; il suffit pour cela de prendre un volant de grandes dimensions.

Sur la multiplication proposée par M. Rateau, M. David objecte les difficultés de réalisation pratique d'engrenages de précision.

Dans une deuxième conférence, M. **Roux** traite de la discussion sur la communication de M. Loppé, relative au ***calcul des canalisations***.

Les travaux de M. Loppé ont paru récemment dans le *Bulletin de la Société des Électriciens*. M. Roux rappelle brièvement les conclusions de ces travaux et montre quel profit trouveraient les ingénieurs dans la création de tables complètes basées sur les formules de M. Loppé.

M. Loppé répond que ces tables sont en préparation et qu'elles feront l'objet d'un volume spécial.

M. Boucherot demande ensuite la parole et démontre d'une façon très élégante que les cana-

lisations à courants alternatifs peuvent se calculer comme celles à courant continu et très exactement ; il reproche à la méthode de M. Loppé de donner seulement un maximum. Nous n'insisterons pas ici sur cette démonstration qui demanderait plus de développement que n'en comporte un simple compte rendu.

Enfin, M. **Janet**, dans une troisième et intéressante communication, parle de la ***variation d'intensité pendant une période d'une lampe alimentée par du courant alternatif.***

Il rappelle d'abord qu'il a fait, il y a trois ou quatre ans, une étude théorique de la question, publiée dans *L'Éclairage Électrique* (1). Il a pu déterminer ainsi par le calcul les variations d'intensité lumineuse pendant une période, ainsi que le décalage φ entre l'intensité lumineuse et la puissance électrique.

En appliquant à une lampe de 16 bougies, pour une fréquence de 40 périodes par seconde, il trouve ainsi que l'intensité lumineuse varie de 14,1 à 18,5 bougies, soit une variation de 13,7 p. 100, et que l'angle $\varphi = 2,6$ degrés.

M. Janet expose ensuite les recherches expérimentales effectuées au Laboratoire Central d'Électricité par M. **Léonard** en vue de la vérification de ses conclusions théoriques.

La méthode employée est celle de Joubert ; on fait usage d'un moteur synchrone bipolaire ayant sur son arbre un disque possédant deux ouvertures, puisque l'intensité lumineuse a une période double de la puissance.

Les courbes pratiques obtenues ici concordent absolument avec les courbes théoriques. Dans le tableau suivant, on trouvera d'ailleurs quelques valeurs déterminées par M. Léonard pour le cas d'une lampe de 13,8 bougies et 110 volts.

	FRÉQUENCE EN PÉRIODES PAR SECONDE		
	30	42	55
Intensité lumineuse, maxima	15,3	15	14,65
— — minima.	12,75	12,85	12,9
Variation en pour cent. . .	18,5	16,0	12,7
Retard maximum, en degrés	30	35	35
— minimum —	50	50	45
— moyen —	40	42,5	40

(1) *Écl. Élect.*, t. IX, p. 323, 1896, et t. XIV, p. 522, 1898.

La variation de puissance rayonnée en fonction du temps est représentée par une ligne presque droite. Pour la lampe considérée ici, on trouve que le filament enmagasine 0,05 calorie pendant une demi-période, pour les restituer à la demi-période suivante.

A la fin de la séance, M. **Hospitalier** qui a apporté deux de ses ondographes en fait fonctionner un et trace des courbes relatives au secteur de la rive gauche. L. J.

ACADÉMIE DES SCIENCES

Séance du 4 novembre 1901.

Sur les variations séculaires du magnétisme terrestre, par **V. Raulin**, *Comptes rendus*, t. CXXXIII, p. 760-763.

Dans un paquet cacheté adressé à l'Académie le 18 juin 1866, l'auteur concluait que l'hypothèse d'une rotation du pôle magnétique boréal autour du pôle terrestre, sur le parallèle de 70°, explique et coordonne tous les faits observés en Europe et dans le bassin de l'Atlantique; cette période devrait avoir une période de 600 ans (1). Dans la communication qui nous occupe, il

(1) En 1866 l'auteur écrivait :

« Pour la *déclinaison*, les observations commencées en 1541, mais plutôt en 1580, à Paris, ont été faites presque chaque année à partir de 1654; aussi cette série est-elle la plus longue et la plus complète qui existe. L'aiguille a marché vers l'ouest jusqu'en 1814, époque à laquelle a commencé son mouvement rétrograde vers l'est. Cette série de 286 ans comprend trois phases : une première de 85 ans (1580-1664) dans l'est du méridien de Paris, décroissante, de 11°30′ à 0°; une moyenne de 150 ans (1664-1814) dans l'ouest, croissante de 0°, ligne sans déclinaison, à 22°34′, ligne de plus forte déclinaison; une dernière de 51 ans (1814-1865) dans l'ouest, décroissante de 22°34′ à 18°33′. Paris, en 1664, était donc sur une ligne sans déclinaison, plaçant le pôle magnétique sur son méridien 0°. En 1830, Rose a trouvé le pôle à l'île Boothia-Felix par 99°7′. En admettant la régularité du déplacement, il était en 1814 par 87°30′, on peut dire au quart de la circonférence terrestre. En 1814 aussi la déclinaison était à son maximum. Les 150 ans de 1664 à 1814 forment ainsi une phase occidentale, complète, accomplie pendant la progression du pôle d'un quart de la circonférence terrestre. Elle doit donc être considérée comme l'une des quatre phases égales en durée d'un cycle magnétique qui aurait une durée de 600 ans.

» Pour l'*inclinaison*, les observations commencées un siècle plus tard indiquent 75° en 1671. Arago la fixait à 68°36′ en 1814 ; elle était de 67°40′ en 1830 et de 65°58′ en 1865. Elle a donc constamment décru dans l'ouest et sa phase, qui a déjà une durée de 195 ans, n'est pas terminée. »

montre que les observations faites depuis 35 ans confirment cette hypothèse [1].

[1] Voici les faits invoqués par M. Raulin :

« D'après l'hypothèse bien fondée de la rotation du pôle magnétique, la déclinaison à Paris a dû croître de 1664 à 1814 et décroître de 1814 à 1866 (ce qui s'est réalisé) et jusqu'en 1964, ce qui ferait 300 ans, la seconde moitié occidentale du cycle. Pendant la première moitié orientale, elle devrait croître de 1964 à 2114 et décroître de 2114 à 2264 pour revenir à 0°. L'inclinaison, de son maximum connu pour 1671, doit décroître dans l'ouest jusqu'en 1814, puis en 1865 (ce qui s'est réalisé) enfin jusqu'à l'arrivée du pôle sur le méridien de Paris en 2264. Elle a diminué de 6°24′ pendant la phase complète de déclinaison croissante, et diminuera peut-être d'une quantité égale pendant la phase décroissante suivante, en complétant la deuxième moitié au méridien de Paris, ce qui la porterait à 62°12′; mais elle ne sera probablement pas aussi réduite.

» En 1901, les 35 années d'observations faites de 1865 à 1900 ont-elles confirmé ou infirmé mes prévisions? En 1840, déjà un Américain, J. Lathrop, après 26 années de rétrogradation, avait cru pouvoir annoncer une période de 700 ans. La continuation de cette marche, qui était alors une probabilité, était devenue un fait accompli en 1866. Depuis, la diminution a continué : pour la déclinaison, d'une marche de plus en plus accélérée, et pour l'inclinaison, d'une marche de plus en plus ralentie; marches sinon réelles, apparentes comme le comporte pour Paris l'hypothèse de la rotation du pôle magnétique; ce qui n'était qu'une probabilité en 1866 a donc acquis le caractère d'une certitude absolue 35 ans après, en 1901.

» La marche décroissante de la déclinaison a été aussi régulière, pendant 77 ans après 1814, que l'avait été sa marche croissante pendant les 78 années précédentes. En effet, la déclinaison, qui était passée de 15°40′ en 1736 à 22°34′ en 1814, avec une différence de 6°54, était redescendue à 15°35′, pendant le même laps de temps, de 1814 à 1891, avec une différence de 6°59′. Il y a là une régularité, une précision bien remarquables.

» Si, au bout de 78 ans, la déclinaison est devenue ce qu'elle était 77 ans auparavant, il parait logique d'admettre que, 73 ans plus tard, en 1964, elle se retrouvera ce qu'elle était 72 ans auparavant, en 1664, c'est-à-dire nulle.

» Quant au pôle magnétique, 71 ans après 1830, en 1901, il devrait être par 141°7′ ouest, soit au delà de l'embouchure de la rivière Mackensie; mais malgré l'appel de M. Peslin en 1866, aucune observation n'a été faite dans ces hautes latitudes.

» Quant à l'inclinaison, qui décroît depuis 230 ans (1671), n'est-il pas probable qu'elle continuera de décroître au moins encore pendant 64 ans jusqu'en 1964, complétant ainsi une phase unique décroissante de 300 ans, de même durée et parallèle à deux de la déclinaison, l'une croissante et l'autre décroissante, comme le veut l'hypothèse de la rotation ?

» Il semble qu'il serait fort difficile, pour expliquer ces divers effets, d'avoir recours à une hypothèse plus simple et plus satisfaisante que celle d'un *corps fusiforme* probablement ferrugineux, magnétique à l'égal d'un barreau aimanté, dont les extrémités aboutissent aux pôles magnétiques actuels de la Terre. Quant au déplacement nécessaire pour expliquer celui de tout le système magnétique superficiel du globe vers l'ouest, il suffirait d'admettre que le corps fusiforme et probablement le noyau fluide interne de la Terre sont entraînés un peu moins rapidement que l'écorce consolidée externe, dans le mouvement de rotation diurne de l'est à l'ouest, d'une quantité qui serait $\frac{1}{600}$ de la vitesse de l'écorce terrestre à ses diverses latitudes.

» La confirmation des probabilités émises en 1840 et en 1866 pour la fin du XIXe siècle ne pourrait-elle pas suffire pour transformer l'hypothèse de la rotation du pôle magnétique en *quasi-certitude* et donner une certaine valeur a celles subséquentes pour le XXe, au moins jusqu'en 1964.

» Et qui pourrait contradictoirement assurer que, à partir de 1964, la déclinaison et l'inclinaison, qui avaient marché jusque-là dans l'ouest du méridien de Paris, ne reprendront pas une marche dans l'est, ainsi que cela avait lieu depuis la naissance des observations en 1541 jusqu'en 1664, c'est-à-dire pendant 123 ans, et que, en 2264, elles ne seront pas revenues dans la situation de 1664, complétant ainsi le cycle de 600 ans ? »

Séance du 11 novembre 1901.

Sur l'absence de déplacement électrique lors du mouvement d'une masse d'air dans un champ magnétique, par **R. Blondlot**. *Comptes rendus*, t. CXXXIII, p. 778-781.

Les théories que Hertz, d'une part, et H.-A. Lorentz, d'autre part, ont données de l'Electrodynamique pour les corps en mouvement affirment l'une et l'autre que, lorsque dans un champ magnétique on foit mouvoir une masse isolante normalement aux lignes de force du champ, il se produit dans cette masse un déplacement analogue à celui dont Faraday et Maxwell admettent l'existence dans le diélectrique d'un condensateur. Toutefois, ces deux théories ne lui assignent pas la même valeur : le déplacement, d'après Lorentz, est égal au déplacement d'après Hertz multiplié par le facteur $\frac{K - K_0}{K}$, où K représente le pouvoir inducteur spécifique du diélectrique en mouvement et K_0 celui du vide. Il résulte de là que, d'après Lorentz, lorsque le diélectrique en mouvement est de l'air, le déplacement doit être nul, au lieu d'avoir une longueur finie comme l'indique la théorie de Hertz [1]. On voit par là que l'étude expérimentale du déplacement dans le cas de l'air donne

[1] H. Poincaré. *Électricité et Optique*, 2e édition, p. 499.

le moyen de décider entre les deux théories.

M. Blondlot a effectué cette étude par une méthode dont voici le principe : Si l'on désigne par OX la direction horizontale d'un champ magnétique uniforme et par OZ la direction d'un courant d'air lancé dans ce champ, la règle de Fleming indique qu'il doit résulter de ce mouvement une force électromotrice dirigée suivant les y négatifs. Imaginons maintenant que l'on ait disposé dans le champ un condensateur formé de deux plaques métalliques parallèles à XOZ, et reliées entre elles par un fil de métal. Si l'air en mouvement qui constitue le diélectrique de ce condensateur est le siège d'un déplacement électrique, chaque section du fil de jonction aura été traversée par une quantité d'électricité égale au déplacement, et les armatures seront chargées, l'une positivement, l'autre négativement, bien qu'elles soient au même potentiel. Si l'on vient alors à rompre la communication entre ces armatures, elles resteront chargées l'une et l'autre. Ce sont ces charges qu'il s'agissait de déceler pour vérifier la théorie de Hertz.

Les expériences faites par M. Blondlot [1] ont montré que ces charges n'existent pas ; leur conclusion est dont contraire à la théorie de Hertz sur l'électrodynamique des corps en mouvement, mais conforme à celle de Lorentz.

Méthode nouvelle pour l'étude de la parole et des courants microphoniques, par **A. Blondel.** *Comptes rendus*, t. CXXXIII, p. 786-789.

L'étude de l'arc chantant par M. Simon, en

(1) Voici comment M. Blondlot décrit l'expérience :

« Le champ est produit par un électro-aimant du modèle P. Weiss, dont les surfaces polaires en regard sont des rectangles ABCD et A'B'C'D' ayant 2,8 cm de hauteur et 1 cm de largeur ; la distance de ces surfaces polaires est de 1,4 cm. L'une des armatures du condensateur est formée d'une plaque rectangulaire en laiton CBB'C', soudée aux pièces polaires et communiquant avec le sol ; l'autre armature est une plaque rectangulaire P en laiton, plus étroite de 0,1 cm que la première et disposée de manière à remplir le rectangle ADD'A', sans toutefois toucher les pièces polaires ; cette armature est isolée et maintenue en place à l'aide d'un manche en paraffine, non représenté sur la figure. Les faces polaires de l'électro-aimant et les armatures du condensateur laissent ainsi entre elles un espace vide en forme de parallélipipède rectangle ; c'est dans cette sorte de tube vertical que le courant d'air est lancé de bas en haut. Ce courant d'air est produit par la détente d'une masse d'air comprimée à 2,2 atmosphères dans un réservoir de 12 litres ; l'air était préalablement parfaitement desséché, puis filtré à travers une colonne de ouate. Un tube gros et court, muni d'un robinet à large ouverture, sert à amener audessous de l'ouverture DCC'D', le courant d'air produit par la détente. Celle-ci s'obtient en ouvrant subitement le robinet, puis le refermant aussitôt ; au moment de l'ouverture maxima du robinet, un ressort métallique, qui jusque-là faisait communiquer l'armature P avec l'autre, est écarté par la clef du robinet et reste écarté.

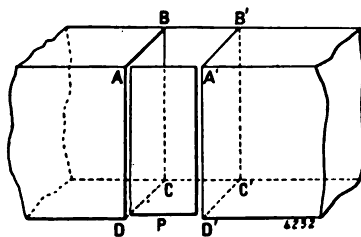


Fig. 1.

» Connaissant l'aire de l'orifice, qui est 1,5 cm², la chute de pression, qui était d'environ 0,3 atmosphère, et la durée de l'ouverture du robinet, qui était d'environ 0,11 seconde, on peut calculer approximativement la vitesse du courant d'air au moment où se produit l'isolement de l'armature P ; cette vitesse fut trouvée comprise entre 14 000 et 15 000 cm sec^{-1}. L'intensité du champ magnétique était un peu supérieure à 10 000 unités C.G.S. Si l'on prend pour ce champ de valeur 10 000, et pour vitesse la valeur 14 000, la force électromotrice induite entre les armatures est

$$1,4 \times 10^8 \text{ unités C.G.S.,}$$

c'est-à-dire sensiblement la force électromotrice d'un élément Leclanché. La charge acquise par l'armature P doit donc, d'après Hertz, être la même, au moins, que si l'on chargeait le condensateur à l'aide d'un Leclanché. Pour déceler cette charge, j'ai employé la méthode décrite par moi dans une Note récente (*Écl. Élect.*, t. XXIX, p. 302) ; dans cette Note, j'ai rapporté que la charge de la plaque P obtenue à l'aide d'un Leclanché dans les conditions cidessus correspond en moyenne à 23 mm de la règle. Or, ayant répété l'expérience d'insufflation plusieurs centaines de fois, je n'ai jamais obtenu que des déviations de ± 3 mm ± 4 mm au plus, c'est-à-dire de l'ordre de ce que peuvent produire des causes accidentelles. Voici en particulier les résultats d'une série de quarante expériences que j'ai exécutées en dernier lieu, avec toutes les précautions que m'avaient suggérées cinq mois de travaux sur ce sujet ; n était pris égal à 15, et le potentiel du plateau auxiliaire était maintenu par une pile de quatre éléments Leclanché :

» 1° Dans vingt de ces expériences, le sens de l'aimantation étant tel que P devait, selon Hertz, se charger négativement, j'ai obtenu comme moyende + 2,90 mm, tandis que la plaque P, charchée par le Leclanché, donnait en moyenne — 19,8 mm.

» 2° Le sens de l'aimantation ayant été renversé, j'ai obtenu, pour vingt expériences d'insufflation, une déviation moyenne de — 3,7 mm, tandis que la charge par le Leclanché donnait + 27,5 mm.

» Le fonctionnement de l'électromètre présentait, comme on le voit, une certaine dissymétrie relativement aux signes des charges, ce qui tient à ce que l'aiguille est en aluminium, tandis que les plateaux fixes sont en cuivre. Cette dissymétrie n'est, du reste, aucunement gênante. »

Allemagne, et par M. Duddell, en Angleterre, ayant montré un moyen d'amplifier les courants microphoniques, M. Blondel a mis à profit cette amplification pour enregistrer les variations de ces courants à l'aide d'un oscillographe.

Les expériences ont été faites pas M. Dobkéwitch et par M. Léonard sur l'installation réalisée par ce dernier pour reproduire les phénomènes fondamentaux de l'arc chantant ([1]).

Le dispositif de résonance comportait l'emploi de trois circuits avec transformateurs élévateur et réducteur, et condensateur (ce dernier était réglé pour le maximum de sonorité et de précision). A en juger par la pureté des sons de l'arc, on peut admettre que la force électromotrice, dans le troisième circuit, reproduit très sensiblement les vibrations naturelles de la voix. L'oscillographe a été branché en dérivation aux bornes secondaires du second transformateur, et l'on a inscrit (en tracé instantané) les courbes correspondant aux voyelles *a*, *e*, *i*, *o*, chantées autant que possible sur la note la_3. La figure 1 reproduit les courbes obtenues ; en D est un tracé chronographique donné par un second oscillographe recevant un courant pris en dérivation sur l'étincelle de rupture d'un électrodiapason ordinaire.

A propos de ces courbes M. Blondel fait les observations suivantes :

« 1° Elles démontrent bien la périodicité du phénomène et la distinction des voyelles entre elles par des différences de formes dans la période ([2]).

» 2° Si l'on compare ces tracés aux tracés corrigés donnés par M. le Dr Marage ([3]), on constate que ceux de l'oscillographe présentent une grande analogie avec ces derniers, à condition de prendre un tracé moyen en négligeant les dentelures aiguës et nombreuses de la figure.

» 3° Le tracé de l'oscillographe présente donc tous les caractères d'un tracé simple défiguré par des oscillations parasites superposées, de fréquences environ quinze fois plus grandes que celle de la période fondamentale de l'*i* par exemple. Comme l'oscillographe était parfaitement amorti, il faut en conclure que le circuit tertiaire, dans lequel se faisait l'observation, produisait par lui-même ces oscillations et qu'il déformait par conséquent un peu les sons. Pour avoir plus de netteté et de précision, il conviendrait d'ajouter une certaine résistance produisant un amortissement. Mais ce serait alors aux dépens de l'amplitude des sons.

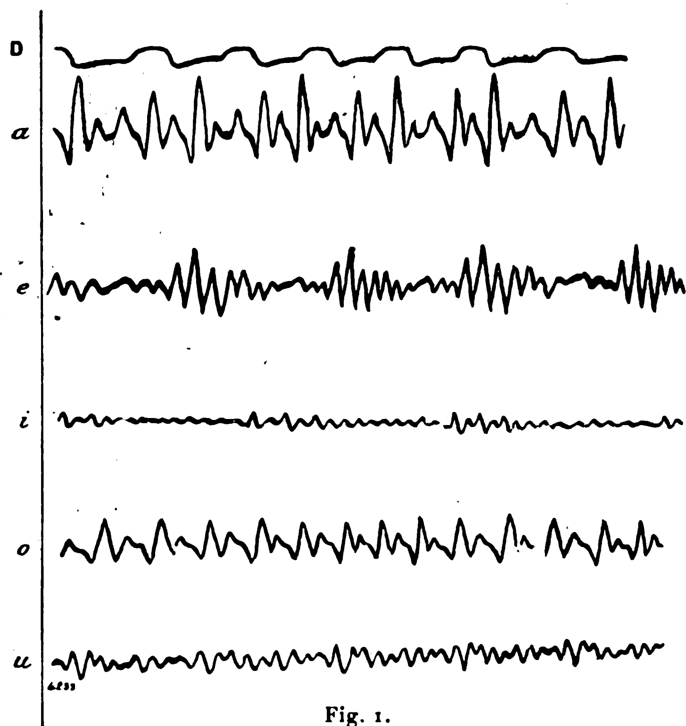


Fig. 1.

» 4° L'amplitude des variations de la force électromotrice ainsi obtenues n'est pas extrêmement considérable en valeur relative. Si l'on obtient dans ces conditions des sons aussi puissants dans l'arc, cela tient aux propriétés mêmes de l'arc. Comme je l'ai montré par les caractéristiques d'arc et, plus récemment, par les tracés oscillographique de l'arc pulsatoire, l'arc électrique est un phénomène extrêmement instable, et il suffit d'une variation de quelques pour cent sur la tension aux bornes autour du régime normal pour faire varier l'intensité du courant de 100 p. 100. Le volume de la masse gazeuse de l'arc variant à peu près proportionnellement au courant, on conçoit que ses vibrations rapides produisent des sons intenses. Le rôle amplificateur de l'arc électrique s'explique ainsi aisément. »

([1]) Voir *Écl. Élect.*, t. XXVIII, p. 111, 20 juillet 1901.

([2]) La période n'est pas la même absolument dans les différents tracés parce que la vitesse du moteur actionnant le miroir tournant n'a pas été toujours rigoureusement constante, non plus que la hauteur du son des voyelles chantées.

([3]) *Bul. de la Société française de Phys.*, 1900, p. 137.

Le Gérant : C. NAUD.

Tome XXIX. Samedi 21 Décembre 1901. 8e Année. — N° 51.

L'Éclairage Électrique

REVUE HEBDOMADAIRE DES TRANSFORMATIONS

Électriques — Mécaniques — Thermiques

DE

L'ÉNERGIE

APPAREILS DE MESURES [1]

Les différents dispositifs de R. Davenport Mershon [2] sont spéciaux aux courants alternatifs et ils se rapportent au même problème suivant : faire connaître, en un point quelconque d'un réseau, la différence de potentiel qui existe en un autre point.

Les causes qui contribuent à modifier le voltage, le long des conducteurs, sont de trois sortes : la capacité de la ligne, les pertes par défaut d'isolement et enfin la charge proprement dite, c'est-à-dire l'ensemble des divers récepteurs.

Pour obtenir l'indication cherchée, l'inventeur réalise un circuit local renfermant le voltmètre v et un transformateur c qui lui fournit un voltage équivalent à celui du générateur r (fig. 28 à 33). Une série de résistances f et de bobines de réaction g constitue, avec les condensateurs k et des shunts, la reproduction réduite du circuit d'utilisation ; la perte en ligne est représentée par le transformateur d, qui abaisse le voltage proportionnellement au courant qui le traverse. Enfin, comme les résistances et les réactances de la ligne fictive créent une perte de charge indépendante de celle du réseau, on combat cette perte au moyen du transformateur e (le brevet dit *converter* ?)

Les différentes figures représentent des variantes de cette disposition, sur lesquelles il est difficile de s'étendre, le brevet étant plus long que clair. Dans la figure 29, le transformateur d est remplacé par une dérivation prise sur la ligne elle-même. Dans les figures 30 et 31, le transformateur e est remplacé par une bobine de réaction m. L'ensemble des

---

(1) Voir *L'Éclairage Électrique* du 7 décembre 1901, p. 345.

(2) Brevet anglais n° 14908, déposé le 1er février 1899, accepté le 23 juin 1900. 6 figures.

condensateurs et des shunts peut être remplacé par un condensateur unique *u* (fig. 33) et un shunt *z*, placés en un point convenable. Toutes ces dispositions ne peuvent s'appliquer que si la *répartition* de la charge est toujours la même.

La boîte de résistance du professeur J.-A. Fleming (1) est disposée de telle sorte qu'il n'y a ni contact ni surface d'ébonite à l'extérieur, afin d'éviter l'action de l'humidité, de la lumière et des poussières. Cette boîte, destinée aux ateliers, est fermée par un couvercle C (fig. 35), percé de trous *h*, par lesquels on introduit les fiches de manœuvre des décades

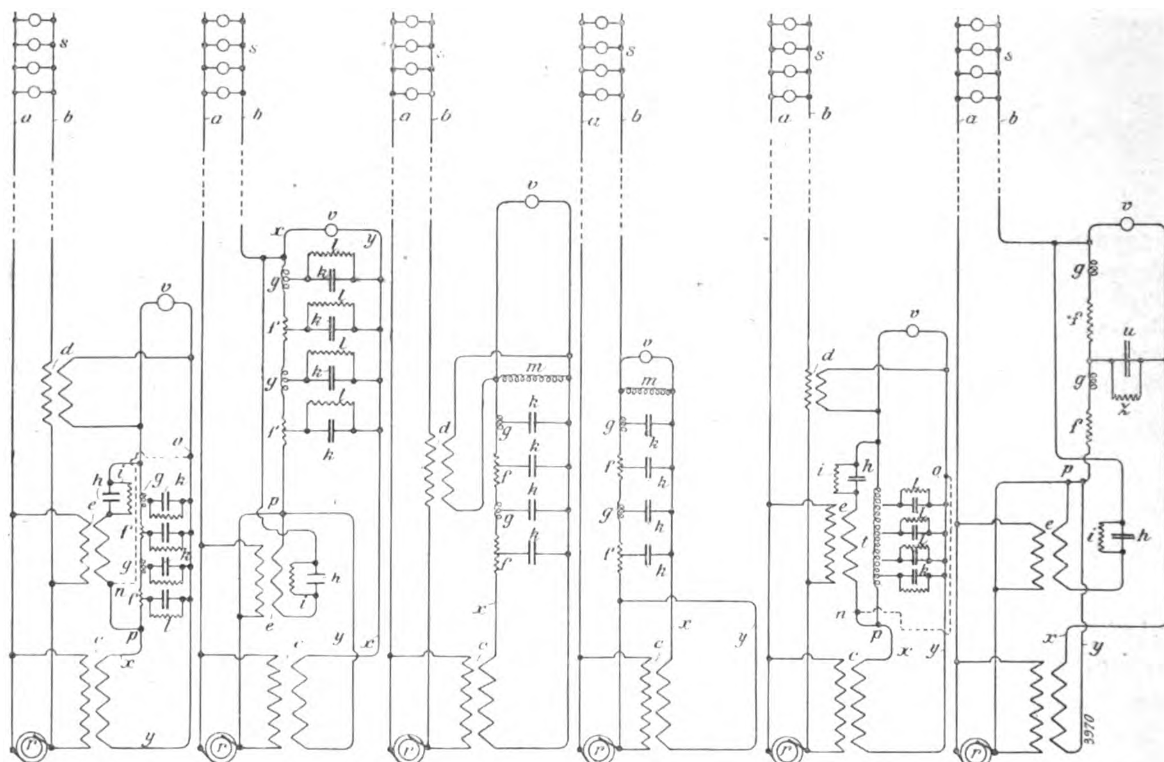


Fig. 28 à 33. — Compensation de la perte de charge, en courant alternatif, procédé Davenport Mershon.

circulaires ; seules, les bornes *c*, qui servent aux jonctions de la boîte avec la pile, le galvanomètre et la résistance à mesurer, sont montées extérieurement.

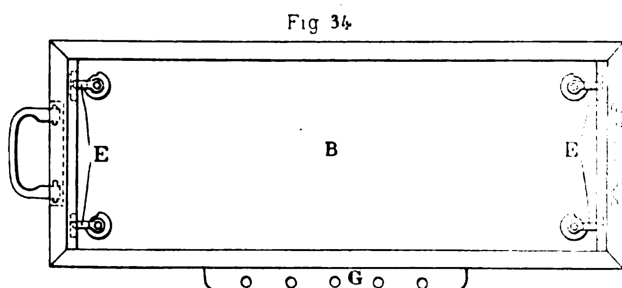
La résistance variable se compose des trois cadrans H (fig. 36), renfermant les bobines d'unités, dizaines et centaines. Chacun de ces cadrans est fixé à la partie inférieure du couvercle et se compose d'un anneau d'ébonite K (fig. 37), à l'intérieur duquel sont placés les plots isolés k_1 et un anneau en laiton *k* ; les bobines sont attachées entre les plots consécutifs et les fiches introduites dans les trous *h*, entre l'anneau et les plots, permettent de prendre de 1 à 10 bobines, comme dans toutes les boîtes à cadrans.

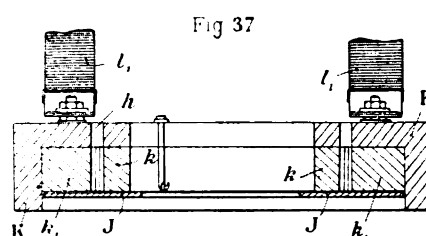
Afin d'éviter l'introduction de la poussière et de l'humidité dans la boîte, une plaque circulaire J, percée de trous en nombre égal à celui des plots, se trouve rappelée par deux ressorts j_1, de sorte qu'elle tend à fermer les ouvertures du couvercle ; pour introduire une fiche entre les plots et l'anneau, il faut manœuvrer la manette h_4 (fig. 36), qui fait tourner les plaques J et démasque les trous.

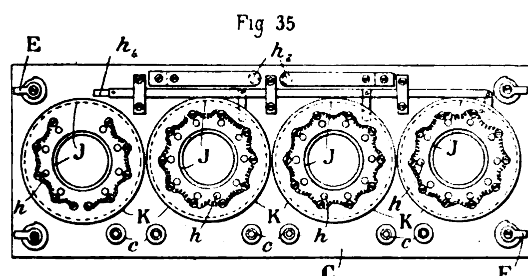
(1) Brevet anglais n° 25295, déposé le 20 décembre 1899, accepté le 24 février 1900. 12 figures.

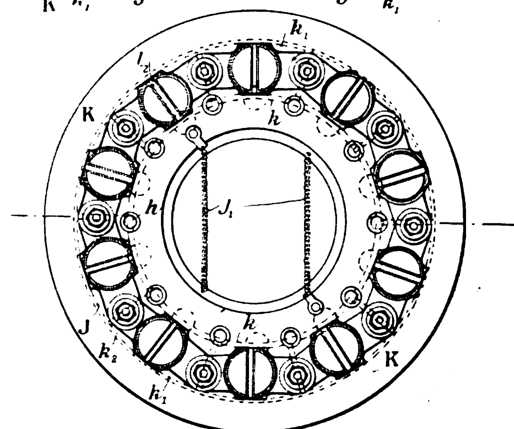
Les bras de proportion sont composés de 8 bobines (fig. 35, 36 et 38) et deux fiches servent à faire les combinaisons nécessaires. Une plaque circulaire semblable aux précédentes sert à fermer les trous des plots, on la manœuvre à l'aide des fiches elles-mêmes.

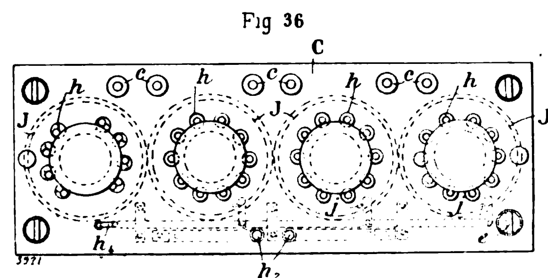
Les bobines sont formées de feuilles de métal recourbées (fig. 39) en forme de demi-cylindre avec cloison diamétrale ; deux de ces pièces sont réunies avec interposition d'une

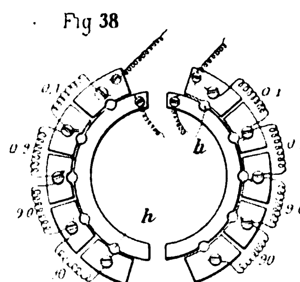












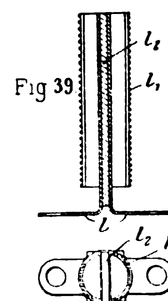


Fig. 34 à 39. — Boîte de résistances du professeur Fleming.

plaque d'ébonite l_2 ; le prolongement l des lames sert aux connexions, chacune des extrémités du fil étant reliée à une des lames.

Comme on le voit sur la figure 35, toute la partie active est fixée sous le couvercle et celui-ci maintenu en place par les verrous E. Les trous G servent à placer les fiches inutilisées. Deux boutons d'ivoire h_2 appuient sur des ressorts et agissent comme clefs de pile et de galvanomètre.

Dans les méthodes de zéro : pont de Wheatstone, potentiomètre ou autres, le galvanomètre sert seulement à constater l'absence de courant et le réglage de l'équilibre doit être fait par une action étrangère. Horace Darwin, E. Howard Griffiths et W.-C. Dampier Wetham (1) se servent du galvanomètre lui-même pour faire ce réglage, sans autre intervention.

(1) Brevet anglais n° 16926, déposé le 21 août 1899, accepté le 18 août 1900. 4 figures.

Dans la figure 40, on voit l'application du système à un pont de Wheatstone à fil, disposition employée, par exemple, pour le pyromètre à résistance de platine. Le galvanomètre est composé d'un cadre D, mobile dans l'entrefer d'un aimant B. Ce cadre est muni d'une agate portée par la vis D_2 et il repose sur un pivot fixe tenu par la potence D_4. Une des extrémités du fil du cadre est reliée à une borne par l'intermédiaire d'un fil très fin attaché à la potence D_4; l'autre extrémité du fil est connectée, par l'intermédiaire du fil F, à un index mobile G dont l'extrémité forme curseur sur le fil du pont. Un autre index E est fixé invariablement au cadre mobile et se déplace avec lui. Des contrepoids G_1 et E_1 équilibrent G et E. Ainsi disposés, les deux index doivent rester parallèles entre eux tant qu'aucun obstacle ne s'oppose au mouvement de l'un d'eux; mais si l'index G se trouve arrêté, l'index E et le cadre mobile ne peuvent plus tourner librement, il faut que le couple déviant, produit par le passage du courant dans le cadre, fasse équilibre au couple de torsion du fil F.

Le fil du pont est tendu en J, au-dessus du cadran cylindrique L, et l'index G vient frotter sur ce fil chaque fois que la barre K s'abaisse et vient appuyer sur le léger ressort G_2 placé à une petite distance au-dessus de lui. La barre K reçoit un mouvement d'oscillation vertical transmis par les rayons K_1, l'axe K_2 et le levier K_3; ce dernier est commandé par les goupilles M fixées sur un des mobiles d'un rouage d'horlogerie. L'index E porte un prolongement très voisin de K.

Le fonctionnement de l'appareil est le suivant : la barre K, recevant un mouvement périodique, se trouve toujours en contact avec l'un des index E ou G; il n'y a pas de temps perdu, grâce au ressort G_2, de sorte que les deux index ne sont jamais libres ensemble. Supposons d'abord la barre K abaissée : l'index G appuie sur le fil du pont, et si la position actuelle n'est pas celle qui correspond à l'équilibre (schéma fig. 41), le cadre mobile reçoit un courant proportionnel au défaut de réglage; à ce moment, le cadre mobile est libre de tourner, il lui suffit de tordre le fil vertical F, l'index E va donc dévier et on a établi les connexions de façon à ce qu'il dévie en se rapprochant de la position d'équilibre réelle. La barre K se relevant vient immobiliser E avant d'avoir abandonné G, mais E n'est plus à ce moment parallèle à G, de sorte que, dès que le dernier index va être libéré par la barre K, il va tendre à dévier à son tour pour reprendre la position parallèle, puisqu'il n'est sollicité que par la torsion du fil F; on voit donc que, grâce à cette disposition, c'est le galvanomètre seul qui cherche la position d'équilibre. Si, à l'abaissement suivant de K, l'index G se trouve arrivé à la position d'équilibre, le courant dans le galvanomètre est nul et l'index E ne dévie pas; au contraire, si l'équilibre n'est pas encore atteint, les choses se reproduisent comme ci-dessus.

Pour obtenir ce résultat, il faut que le galvanomètre soit astatique — au point de vue mécanique — et pour cela, le fil de jonction qui le relie au circuit doit être sans force directrice appréciable; le second fil, F, qui est relié à l'index G doit avoir un couple de torsion approprié à la grandeur du courant dans le pont.

On peut ajouter à l'action du fil de torsion F, la liaison des deux index par une sorte d'étrier H qui, tout en leur laissant une certaine liberté, tend à les ramener au parallélisme.

Pour faire de l'appareil un enregistreur, il suffit de placer au bout de l'index G une plume G_3 (fig. 42), qui vient, à chaque abaissement de K, marquer un point sur la feuille de papier.

En substituant au galvanomètre Deprez d'Arsonval un électrodynamomètre, on peut employer l'appareil avec les courants alternatifs.

Pour enregistrer les indications des appareils à très faible force directrice : galvanomètres, boussoles marines, etc., E. A. Goddin [1] utilise les propriétés bien connues du sélénium. L'appareil est représenté sous sa forme la plus simple par la figure 43. Deux résistances au sélénium sont disposées en *e f*, autour du disque *k* d'une boussole ; ces résistances sont intercalées en parallèle sur le circuit d'une pile *d* et elles sont, chacune, en série avec un des solénoïdes *g* et *h*. Un noyau de fer *i* est soumis à l'action de ces solénoïdes et des ressorts *j* ; il porte la plume de l'enregistreur *n*. Les résistances au sélénium sont, bien entendu, placées à l'abri de la lumière extérieure, elles ne reçoivent que les

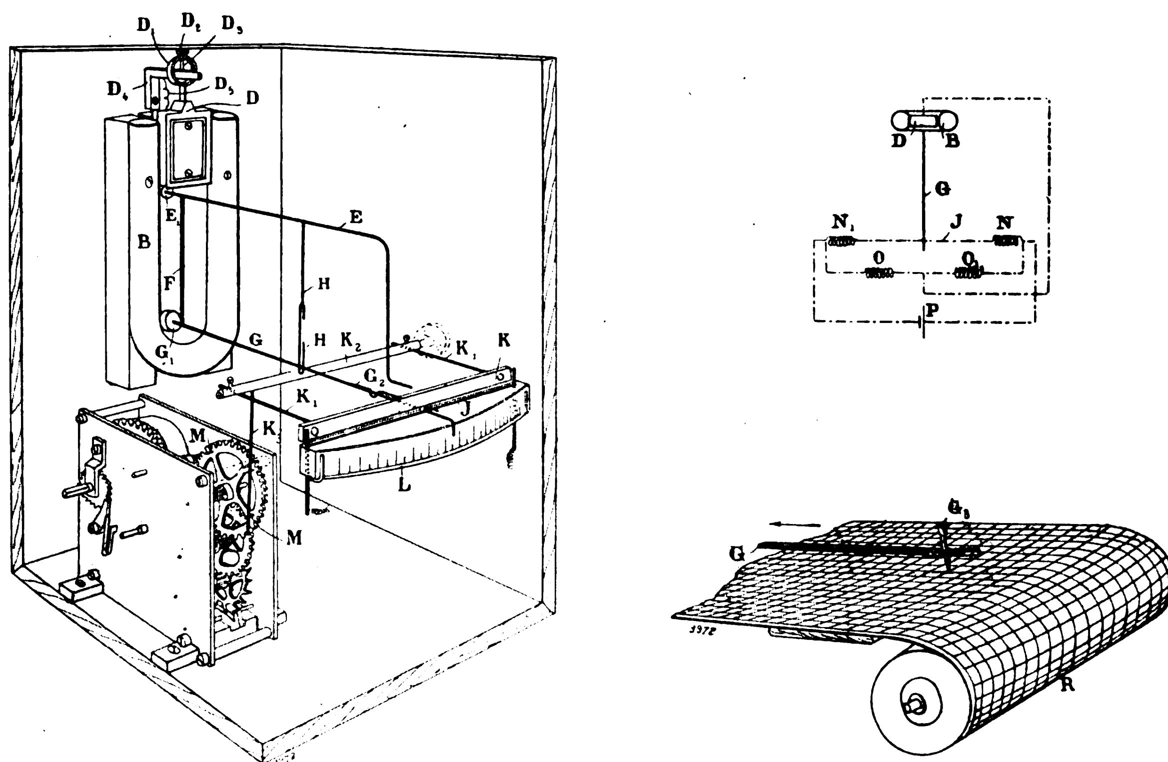


Fig. 40 à 42. — Pont de Wheatstone à réglage automatique de H. Darwin, H. Griffiths et Dampier Wetham.

rayons d'une lampe, réfléchis par un miroir (fig. 43 et 48). Dans la position d'équilibre, *e* et *f* reçoivent la même quantité de lumière, les deux résistances sont égales et le noyau de fer, également attiré par les solénoïdes *g* et *h*, reste au repos. Dès qu'une déviation du compas se produit, le miroir *l* est entraîné et réfléchit plus de lumière d'un côté que de l'autre, la résistance du sélénium s'abaisse du côté le plus éclairé et le solénoïde correspondant recevant un courant plus intense, exerce une attraction plus forte, le noyau dévie.

Indépendamment de l'enregistrement, le système peut être adapté à commander un avertisseur, une sonnette, comme on le voit en *p* (fig. 43).

Divers moyens peuvent être employés pour régler la quantité de lumière qui tombe sur les résistances au sélénium. Ces résistances étant placées dans une boîte annulaire (fig. 48), reçoivent la lumière seulement par la face interne et le mobile dont il faut enregistrer le mouvement porte un miroir *l* qui réfléchit la lumière de la lampe *m*. Le disque *k* peut aussi

[1] Brevet anglais, nº 17504, déposé le 29 août 1899, accepté le 18 août 1900. 8 figures.

former écran (fig. 49), et être interposé sur le trajet des rayons qui tombent d'en haut. Enfin, la réflexion peut être produite par un miroir fixe 35 (fig. 50), le disque jouant encore le rôle d'écran et la résistance recevant la lumière sur sa face inférieure.

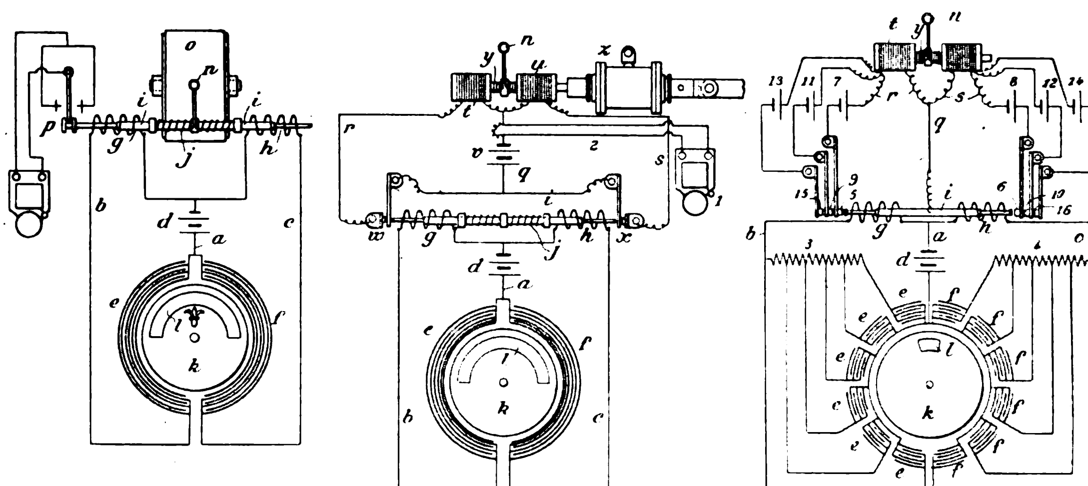


Fig 46

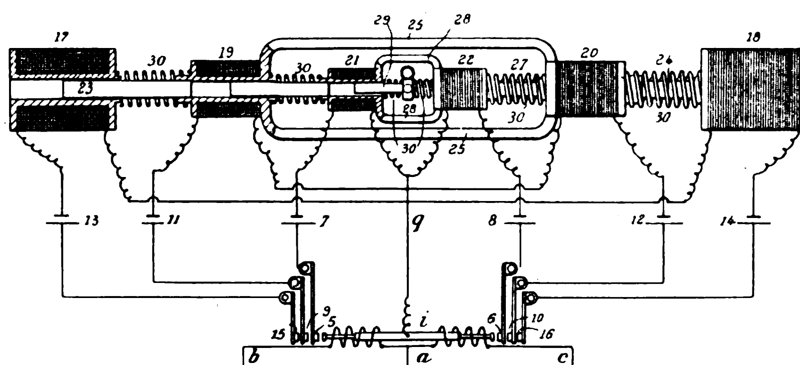


Fig 47

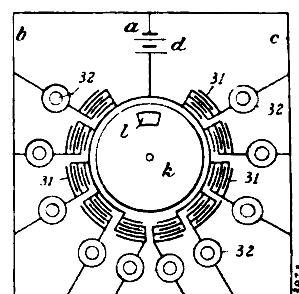


Fig 48.

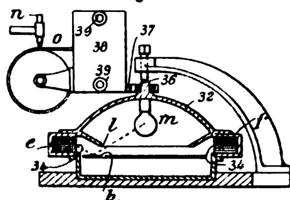


Fig 49

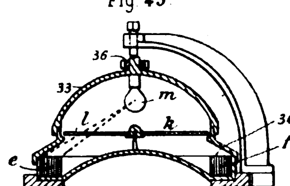


Fig 50.

Fig. 43 à 53. — Disposition pour l'enregistrement des appareils à faible force directrice. E. A. Goddin.

Comme variantes de la disposition générale ci-dessus, l'inventeur signale l'emploi de relais *t* et *u* (fig. 44), actionnés par un courant plus énergique, fourni par la pile *v*; dans ce cas, les solénoïdes *g* et *h* agissent seulement pour fermer le circuit des relais et ceux-ci actionnent à leur tour un servo-moteur *z*.

Pour obtenir plus facilement la proportionnalité entre le déplacement du mobile et le déplacement du noyau *i* des solénoïdes, on peut diviser les résistances de sélénium en plusieurs parties *e*, *e*, *f*, *f*, réunies en deux groupes et placées en dérivation sur chaque cir-

cuit (fig. 45) mais avec des résistances décroissantes, de telle sorte que si la lumière vient à tomber sur la dernière résistance — celle du bas — le courant envoyé dans le solénoïde est beaucoup plus intense que quand elle tombe sur la première; par suite, le noyau de fer étant plus fortement attiré, appuie sur tous les contacts à charbon, 5, 6, 9, 10, 15, 16, et ferme successivement les circuits des piles 8, 12, 14 et 17, 11, 13.

Le solénoïde unique, mais à plusieurs enroulements de la figure ci-dessus, peut être remplacé par une série de solénoïdes, 17 à 22 (fig. 46); 17 et 18 sont fixes, tandis que 19 et 20 sont solidaires des noyaux 23 et 24, 21 et 22 solidaires des noyaux 26 et 27; il résulte de cette disposition une course plus grande du noyau central 29, puisque le solénoïde dans lequel il plonge se déplace lui-même. Les différents solénoïdes sont commandés successivement, quand la déviation de la boussole augmente, par les éléments de pile correspondants 7, 8, 11, 12, 13 et 14.

Dans la disposition de la figure 47, la pile *d* est commune et chacune des résistances au sélénium est intercalée dans le circuit d'un électro, de façon à obtenir la mise en action d'un appareil spécial pour chaque déviation, par exemple : un crayon enregistreur permettant d'inscrire le temps pendant lequel une boussole a occupé la position qui correspond à la pile mise en jeu.

H. ARMAGNAT.

INSTALLATIONS ÉLECTRIQUES DANS LES MINES

DE LA SOCIÉTÉ MINIÈRE DE RIEBECK PRÈS DE HALLE

I. GÉNÉRALITÉS. — Le transport d'énergie du puits Ottilie Kupferhammer près de Oberröblingen, exécuté pour le compte de la Société minière de Riebeck, dessert un treuil électrique, la commande d'un transport souterrain par chaîne, d'un ventilateur pour l'aération du puits et d'une machine à glace. Quatre transbordeurs à chaîne seront installés dans la suite. Le treuil sert principalement pour le transport du personnel, mais on l'emploie aussi pour descendre des madriers. Toute l'installation a été exécutée par l'Allgemeine Elektricitäts Gesellschaft de Berlin.

Les avantages déjà très grands de l'électricité pour les mines, sont particulièrement marqués dans le cas présent, où l'on emploie pour la production de force motrice les gaz qui resteraient sans cela inutilisés. On sait que les moteurs à gaz surpassent nettement les moteurs à vapeur en ce qui concerne l'utilisation de la chaleur du combustible. Tandis que la meilleure machine à vapeur ne transforme en force motrice que 12 à 16 p. 100 de l'énergie contenue dans le charbon, les moteurs à gaz utilisent jusqu'à 25 ou 30 p. 100 de la chaleur de combustion du gaz. Néanmoins les stations à vapeur sont en général plus économiques à cause des frais très élevés de production du gaz. Il n'en est pas de même lorsque celui-ci est un sous-produit obtenu sans frais. Les dépenses se réduisent alors à l'armortissement des appareils destinés à purifier et transporter le gaz.

L'installation dont nous parlons a prouvé que toutes les difficultés techniques que l'on rencontrait dans la construction des moteurs à gaz peuvent être considérées comme vaincues.

La figure 1 représente le plan de l'installation. La distance entre les stations primaire et secondaire est de 2,2 km. A l'exception des machines à glace de la fabrique de paraffine

qui se trouvent au puits Ottilie Kupferhammer, tous les appareils sont branchés sur la station secondaire.

II. Gaz de distillation. — Les gaz qui alimentent le moteur résultent d'une distillation sèche de charbon goudronneux pour la production de paraffine. Des fours cylindriques à

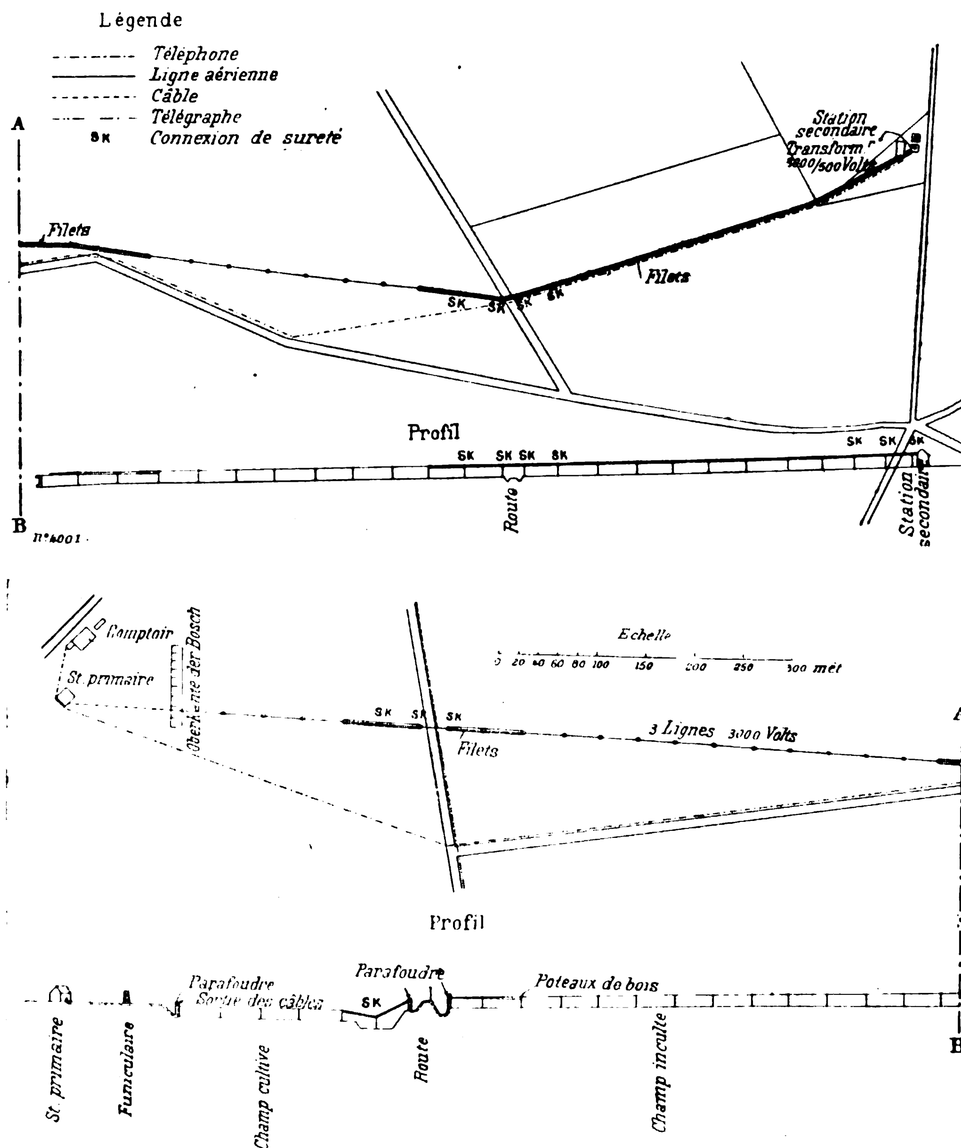


Fig. 1. — Plan de l'installation de Riebeck.

marche continue renferment le charbon. Les gaz chauds, composés en majeure partie de carbures d'hydrogène, sont aspirés des fours au moyen de pompes et dirigés vers des condenseurs constitués par des tubes en tôle disposés au-dessus de caisses métalliques. Les gaz circulent dans ces tubes exposés à l'air libre, le goudron se condense et se rassemble dans les caisses d'où il est extrait pour être transformé en paraffine. Les gaz qui ne donnent plus de goudron étaient jusqu'ici expulsés au dehors et perdus ; dans quelques rares usines,

on les utilisait pour chauffer les fours à distiller ou des chaudières à vapeur. A Oberröblingen on les emploie pour actionner les moteurs à gaz. Le pouvoir calorifique est de 1 800 calories par mètre cube, tandis que le gaz de houille a en moyenne 5 500 calories.

Le gaz subit une purification préalable qui consiste en un lavage suivi d'un barbotage dans un désulfurant. Puis il est recueilli dans un gazomètre. La consommation du moteur est de 1,5 m³ par cheval-heure ; le prix de revient d'un mètre cube est de 0,4 à 0,6 centime.

III. Moteurs a gaz. — Les deux moteurs sont construits par les frères Körting, de Hanovre. Ils sont horizontaux, monocylindriques à quatre temps (fig. 2 et 3). La construction est du type usuel. La vitesse est de 120 tours par minute et la puissance de 125 chevaux effectifs par moteur. L'allumage est électrique. Le démarrage se fait au moyen d'air comprimé, le compresseur étant mû par un petit moteur spécial.

IV. Dynamos. — Chaque moteur commande par courroie un alternateur du type NDM 500/100 d'une puissance de 80 kilowatts sous 3 000 volts. Les excitatrices du type NG (50/110) volts, sont conduites par une seconde poulie montée sur l'arbre de l'alternateur. Elles servent également à l'éclairage de la salle des machines et à la commande d'un ventilateur pour l'aération.

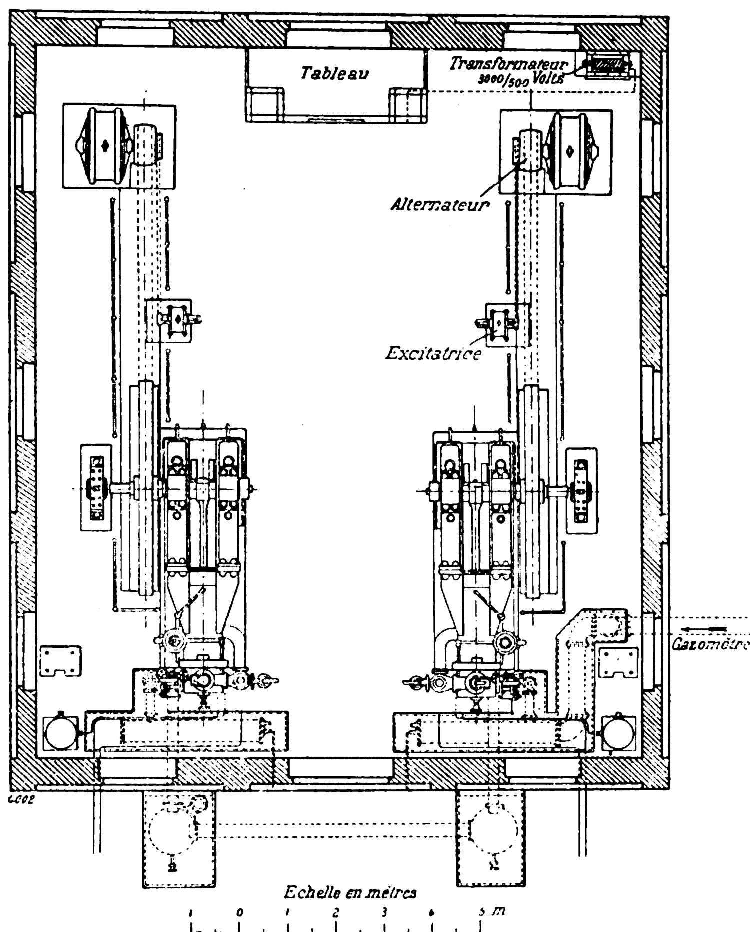


Fig. 2. — Plan de l'usine génératrice.

V. Distribution du courant. — Des câbles passés sous le plancher amènent au tableau le courant de la dynamo. Sur une plaque de marbre se trouvent tous les appareils et départs de circuit du courant continu et du courant triphasé. Un grillage en fer (fig. 4) entoure le tableau et le sépare de la salle des machines.

Près du tableau (fig. 5) se trouve un transformateur qui abaisse la tension de 3 000 à 500 volts et alimente un moteur triphasé ND 300 de 30 chevaux qui actionne une machine à glace dans la fabrique de paraffine.

Mais la plus grande partie de l'énergie est transportée au puits distant de 2,2 km sous une tension de 3 000 volts. La ligne est aérienne de 3×35 mm² de section et est portée par des isolateurs à double cloche supportés par des poteaux de bois. Aux endroits où la ligne croise et longe les chemins, on a disposé des filets et des attaches de sûreté qui interrompent le courant lors d'une rupture de ligne.

***

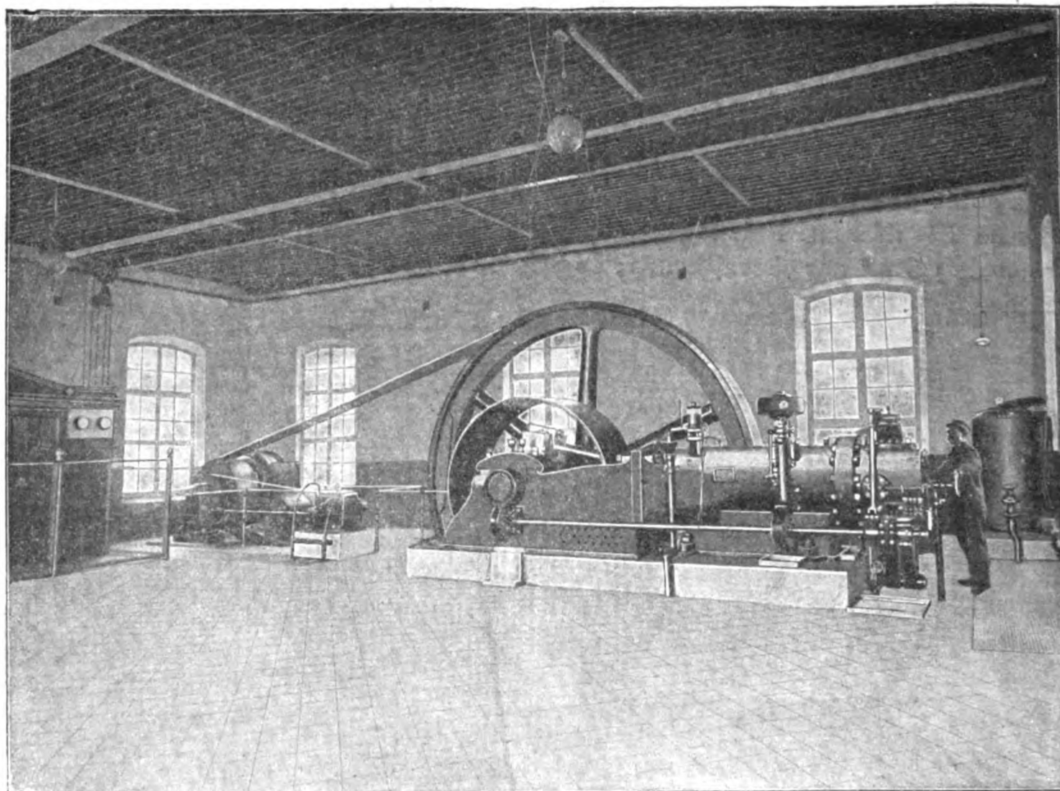


Fig. 3. — Vue intérieure de l'usine.

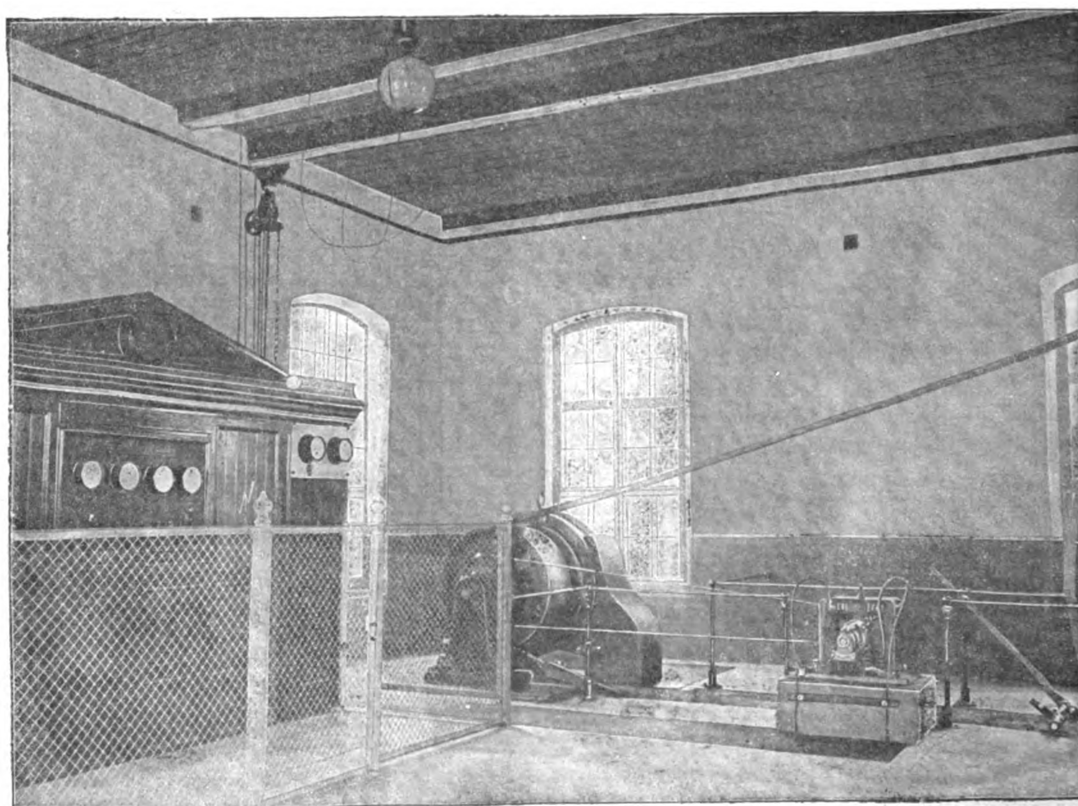


Fig. 4. — Vue intérieure de l'usine.

VI. Station secondaire. — La ligne aboutit à deux transformateurs de la salle du treuil où la tension est réduite à 120 volts pour l'éclairage et 500 volts pour la force motrice. Le courant transformé arrive au tableau de répartition d'où partent les circuits qui se rendent aux appareils d'utilisation.

L'éclairage comprend 8 lampes à arc, 32 lampes à incandescence, qui éclairent les bâtiments au-dessus du sol. On installera incessamment l'éclairage dans le puits et dans les salles de machine souterraines.

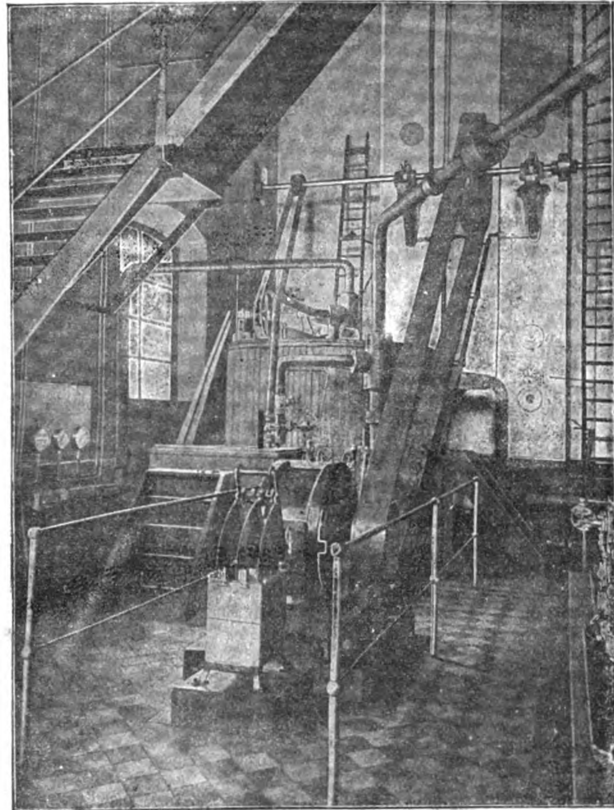


Fig. 5. — Moteur de la machine à glace.

VII. Treuil électrique. — Le treuil, dont la partie mécanique est construite par les ateliers de Bernburg, est à deux cages, dont chacune peut contenir six hommes. Chaque cage a une surface de 1 200 × 1 200 mm² et une hauteur de 1,80 m. La vitesse est de 1,5 m par seconde. Tous les appareils sont montés sur une plaque de fondation commune (fig. 7 et 8).

L'arbre du treuil porte deux tambours l'un fixe et l'autre mobile. Le câble en s'enroulant forme une seule couche. Une roue dentée est reliée au tambour mobile au moyen de boulons dont les têtes sont placées dans une entaille pratiquée dans la roue dentée; on peut ainsi déplacer à volonté le tambour mobile.

Entre les tambours se trouvent les couronnes de freinage qui sont vissées de façon qu'on puisse les retirer très facilement une fois qu'elles sont usées. Sur chaque couronne viennent frotter deux rubans d'acier portant des tasseaux de bois ; l'une des couronnes est au-dessous de l'arbre, l'autre au-dessus, ce qui évite les réactions latérales sur l'arbre. Le mécanicien commande l'un des freins au moyen d'une pédale; un contrepoids desserre le frein. Le second frein n'entre en action que lorsque la cage dépasse sa position d'arrêt. A cet effet l'arbre du treuil commande par engrenages coniques une tige filetée sur laquelle se déplace un écrou dont la rotation est empêchée ; cet écrou vient buter contre une bague qui attire, au moyen de leviers, une tige; celle-ci serre le frein ; un instant auparavant l'écrou avait fait tinter une cloche d'alarme. Tous les freins sont très rapprochés les uns des autres, de sorte que le mécanicien peut tous les actionner facilement.

L'arbre du treuil est commandé par un moteur triphasé par l'intermédiaire de deux trains d'engrenage. Le moteur est muni d'un induit à bague et a une puissance de 30 chevaux à la vitesse de 720 tours par minute. La manœuvre s'effectue à la main au moyen d'un levier qui actionne l'appareil de démarrage et d'inversion. Les contacts sont disposés en forme de collecteur. Le courant arrive par trois paires de balais, disposition que la pratique a pleinement sanctionnée. Les résistances sont disposées dans une boîte placée sur un prolongement de la plaque de fondation du treuil.

L'appareil permet de faire varier à volonté la vitesse et le sens de rotation du treuil, un déplacement du levier amenant toujours un déplacement dans le même sens du treuil. Le freinage peut s'effectuer très facilement par contre-courant. Il suffit de déplacer le levier dans le sens opposé à la rotation du treuil. Le freinage peut être gradué avec la plus grande précision, depuis l'arrêt progressif jusqu'à l'arrêt instantané. Lorsque le levier est dans sa position moyenne, le moteur est à l'arrêt et ne reçoit pas de courant. Le levier est amené dans cette position soit à la main, soit par la chute de la tige de frein, le freinage mécanique ne commençant qu'après l'interruption du courant.



Fig. 6. — Puits de la mine.

A côté du tambour se trouve l'indicateur de profondeur, constitué par une plaque devant laquelle se meuvent deux index dont les positions correspondent à celles des cages. Le mouvement de ces index est déterminé par l'arbre du treuil, par l'intermédiaire de fortes cordelettes.

Le mouvement du treuil se fait avec la plus grande régularité, même lorsque l'on emploie seulement le contre-courant. C'est ainsi que l'on peut assurer la descente du personnel, en employant uniquement le contre-courant, sans se servir du frein. Le contre-courant permet également à la descente d'arrêter instantanément la cage en un point quelconque du puits.

VIII. Ventilateur centrifuge. — Ce ventilateur aspire l'air vicié par une conduite, tandis que l'air frais rentre par les galeries aboutissant au sol. L'orifice a 520 mm de diamètre et la roue a 800 mm de diamètre; le débit est de 600 m³ par minute. Le ventilateur est commandé par un moteur de 20 chevaux par l'intermédiaire d'une courroie, le démarrage se fait au moyen d'un rhéostat liquide.

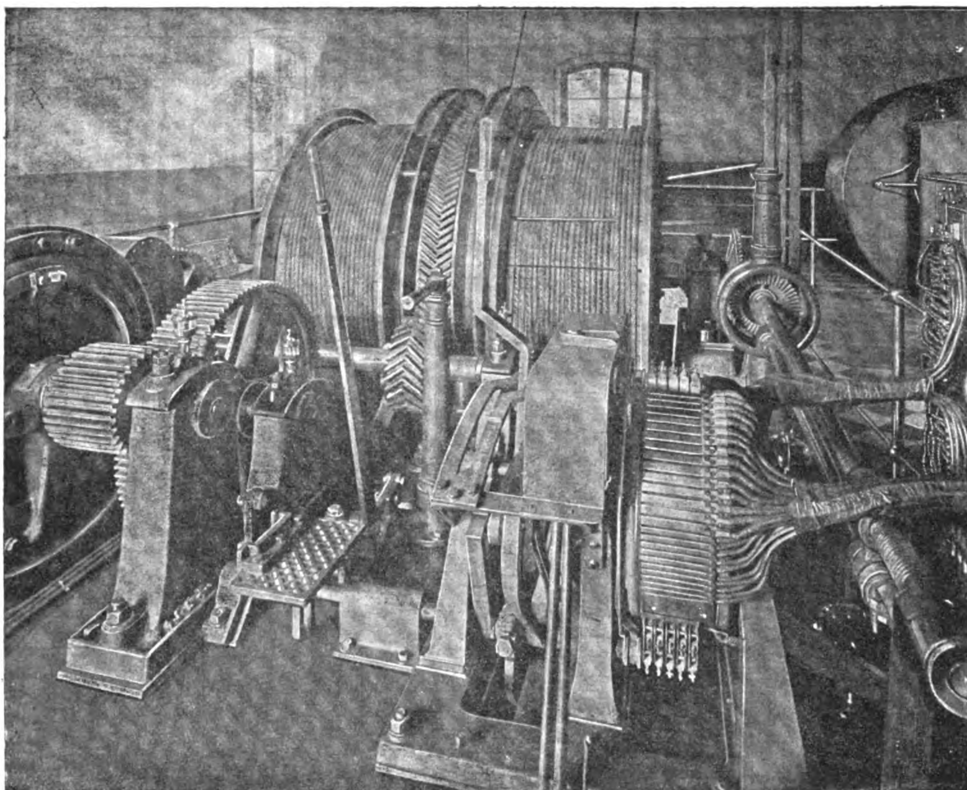


Fig. 7. — Treuil du puits.

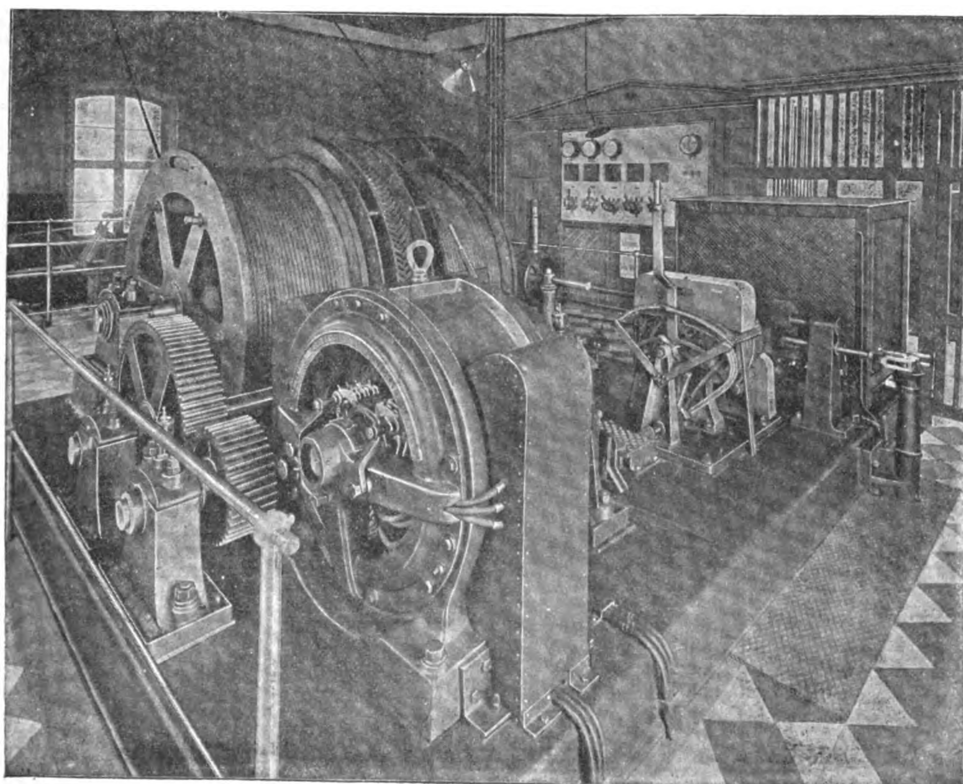


Fig. 8. — Treuil du puits.

IX. Transport par chaîne. — Le charbon est amené à la surface du sol au moyen d'une chaîne qui court dans une galerie oblique et qui est commandée par une machine à vapeur. Lorsque l'on a été conduit à accroître la profondeur de sondage et, par suite, la longueur de la galerie, la machine à vapeur est devenue insuffisante. On installa alors un deuxième

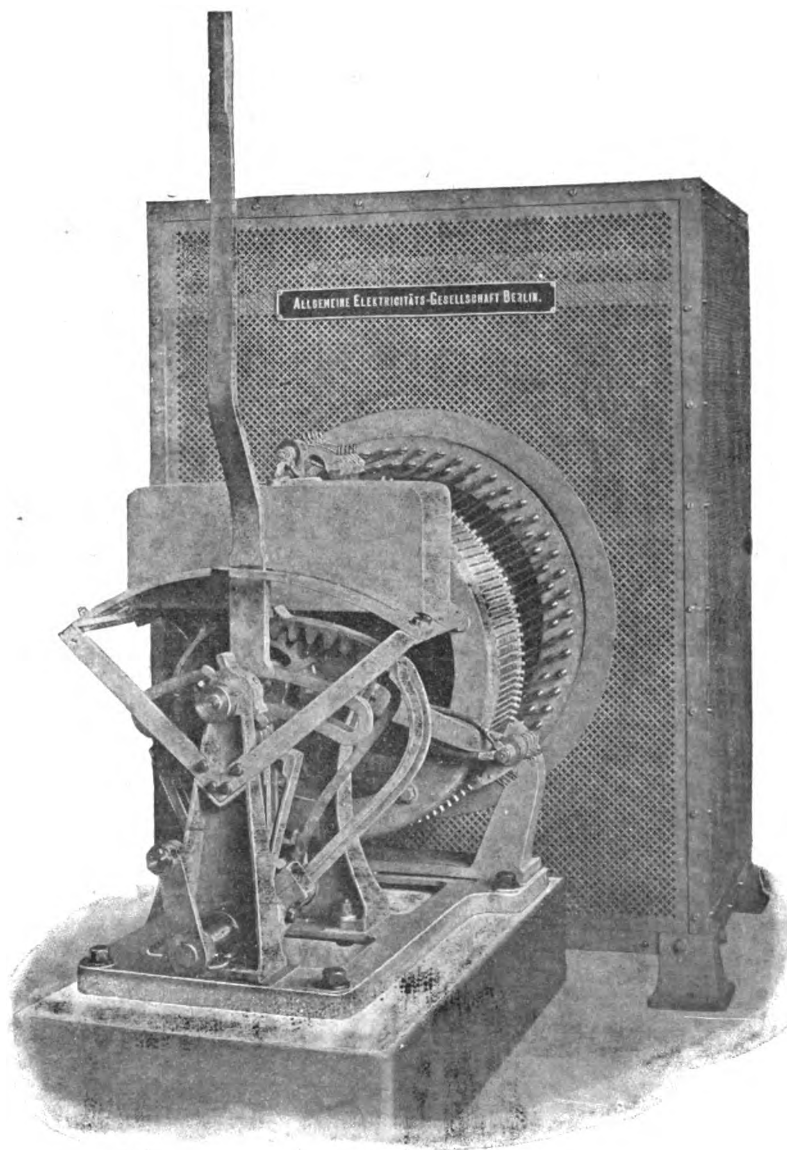


Fig. 9. — Appareil de démarrage et d'inversion du treuil.

transport par chaîne, commandé par un moteur de 30 chevaux dont la vitesse est réduite par engrenages et qui démarre au moyen d'un rhéostat liquide. La longueur de la galerie est de 100 m. Le moteur est enfermé dans une boite hermétiquement close.

L'installation qui vient d'être décrite fonctionne sans interruption depuis deux ans, ce qui prouve combien il est facile d'utiliser les gaz résultant de la distillation du goudron, que jusqu'ici on laissait perdre.

E. Beutom.

MOTEUR A COURANT ALTERNATIF SIMPLE

SANS BALAIS ET DÉMARRANT SEUL

Sous ce titre a paru le 5 octobre dernier (p. 5) un article dans lequel M. Fischer-Hinnen donnait la description d'un moteur de son invention. Un de nos lecteurs (anonyme) nous écrit à ce sujet qu' « il serait intéressant pour tout le monde de connaître les résultats d'essais d'un tel moteur », car la théorie montre « que le couple utile sur une moitié du moteur est équilibré par un couple inverse développé sur l'autre moitié » M. Fischer-Hinner, à qui nous avions transmis ce desideratum et cette objection, nous adresse la lettre suivante, datée du 5 novembre, et que nous n'avions pu jusqu'ici publier :

« Je vous envoie par ce même courrier une photographie d'un petit moteur de ce genre (fig. 1), destiné primitivement à des essais sur une lampe à arc à courant alternatif. Ce moteur a un alésage de 40 mm, une longueur de 15 mm par induit et actionne un tambour de 46 mm de diamètre au moyen d'un train d'engrenages et d'une vis sans fin (rapport de vitesse 1 : 1 000). Pour me rendre compte du couple développé, j'ai remplacé les charbons par un poids librement suspendu et j'ai constaté qu'à 110 volts et 42 périodes le moteur démarrait encore avec un poids de 9 kg ; à 50 volts le poids soulevé n'était que de 2 kg. Le sens de rotation variait selon qu'on envoyait le courant primaire dans l'enroulement M_1 ou M_2.

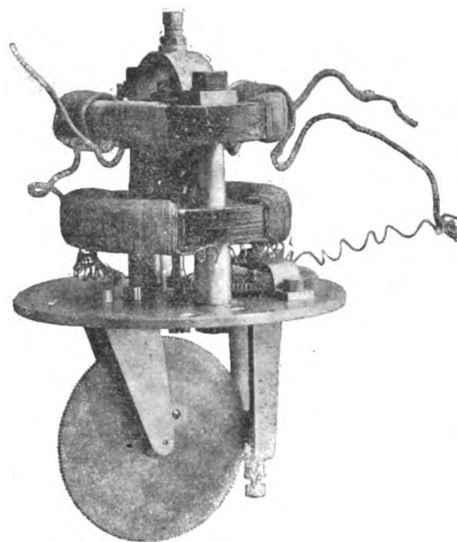


Fig. 1.

» Enfin j'ai fait un essai sur un second moteur pour déterminer les fuites. Les enroulements comprenaient : M_1, 52 spires, M_2, 640 spires ; l'entrefer était de 1 mm. En envoyant un courant de 14 ampères sous 2 volts (1,76 volt en déduisant les pertes ohmiques) dans l'enroulement M_1, la tension relevée aux bornes de M_2 atteint 15 volts au lieu de $\frac{640}{52} \cdot 1{,}76 = 21{,}9$, d'où l'on trouve un coefficient total de dispersion égal à 1,46.

» Malheureusement, je n'ai que des données très vagues sur la marche asynchrone de ce moteur ; j'ai pu toutefois remarquer que le couple monte du double au triple lorsqu'on ajoute la seconde bobine.

» Il va sans dire que les conclusions qui peuvent en être tirées ne sont pas immédiatement applicables à des moteurs de puissances supérieures. Ce résultat me semble néanmoins être assez intéressant à plus d'un point de vue, et je crains fort que les considérations théoriques auxquelles fait allusion votre correspondant ne puissent changer quelque chose à ces chiffres fournis par l'expérience, si ce n'est peut-être de conduire à une explication du phénomène autre et meilleure que la mienne.

« Fischer-Hinnen. »

REVUE INDUSTRIELLE ET SCIENTIFIQUE

GÉNÉRATION ET TRANSFORMATION

Marche en parallèle dans les systèmes à courants alternatifs, par **Hans Sigismund Meyer**, *Elektrotechnische Zeitschrift*, 31 octobre 1901, p. 905.

La bonne marche en parallèle des alternateurs dépend en première ligne de la plus ou moins grande régularité de vitesse des machines motrices.

Les variations de vitesse de ces machines peuvent être dues à deux causes principales : d'une part, les modifications dans la charge amènent des variations dans la vitesse moyenne de l'alternateur, c'est-à-dire dans le nombre de tours par minute ; d'autre part, l'inertie des pièces animées de mouvements alternatifs et les variations périodiques du couple moteur, dans les machines à vapeur et les moteurs à gaz, provoquent des variations de la vitesse angulaire instantanée, tout en laissant constante la vitesse moyenne ou le nombre de tours par minute.

Les variations dans la vitesse moyenne dépendent surtout du régulateur : ce serait une erreur de croire que les machines les plus aptes à la conduite des alternateurs en parallèle sont celles pour lesquelles la différence des vitesses entre la marche à vide et la pleine charge est le plus faible, par exemple 0,5 ou 1 p. 100.

On sait que [1] dans la marche en parallèle des alternateurs, on ne peut obtenir une répartition convenable des puissances par la seule manœuvre du rhéostat d'excitation ; une augmentation du champ inducteur d'un alternateur n'aboutit qu'à la production d'un courant de circulation qui va renforcer le champ inducteur des autres alternateurs plus faiblement excités : pour agir sur la puissance électrique d'un alternateur, il faut agir sur la puissance mécanique du moteur qui le commande, en modifiant l'admission de vapeur ou de gaz.

Si une machine tournant à vide à 100 t : m et tombant en pleine charge à 99 t : m, marche en parallèle avec une seconde machine, également réglée à 1 p. 100 près, mais avec 100,5 t : m à vide et 99,5 t : m en charge, à la vitesse de 99,5 t : m, la première machine travaillera à demi-charge et la seconde à pleine charge, et il en sera de même des deux alternateurs dans lesquels la puissance sera mal répartie. Pour deux machines dont les vitesses ne sont réglées qu'à 4 ou 5 p. 100 près, une différence de 0,5 p. 100 dans les vitesses normales n'aura que peu d'importance et, contrairement à ce qui se passe dans les deux premières, n'amènera pas une mauvaise distribution des puissances.

L'action du régulateur de vitesse se manifeste encore d'une autre façon : quand la charge d'un ensemble de machines marchant en parallèle vient à varier, chacun des régulateurs cherche à prendre la nouvelle position correspondante : il peut arriver que le régulateur 1 règle pour une charge trop faible, tandis que le régulateur 2 règle pour une charge trop forte : la machine 2 enlève alors à la machine 1 une partie de sa charge ; à l'instant suivant, le contraire peut se produire, et ainsi de suite ; la charge de cette machine varie à tout instant, et ce phénomène est accompagné du passage de courants de circulation très intenses d'un alternateur à l'autre. Comme la machine la moins chargée tend à tourner plus vite, elle envoie du courant magnétisant dans les autres, aux dépens de la tension du système qui subit de fortes oscillations.

Pour remédier à ce *pompage* dû aux régulateurs, il suffit de leur adapter des freins à huile, qui s'opposent aux déplacements brusques provoqués par des oscillations courtes de la charge, mais ne gênent nullement leur action quand il s'agit de variations durant un certain temps [1].

La prédétermination exacte de ces freins à huile est impossible : aussi faut-il adopter un système qui permette un réglage à l'usine, une fois en place, soit par modification de la grandeur des orifices, soit par l'emploi d'une huile plus ou moins épaisse.

---

[1] Cf. Chevrier. Pratique industrielle des courants alternatifs, p. 139 et autres.

[1] Voir Chevrier, *loc. citat.*

On peut encore remédier à cet inconvénient en ne munissant qu'un seul alternateur d'un régulateur précis, les autres régulateurs étant rendus moins sensibles, pour agir seulement dans le cas d'une trop grosse variation. C'est l'alternateur, muni d'un régulateur précis, qui supporte seul les variations normales de la charge.

L'auteur cite le cas d'une installation comprenant deux alternateurs triphasés de 800 kilowatts à 72 pôles, accouplés directement à des machines compound horizontales de 1 000 chevaux, tournant à 100 t : m. Aussitôt les machines mises en parallèle, naissait un courant de circulation atteignant parfois le double du courant normal : les oscillations des ampèremètres étant d'ailleurs exactement périodiques, à raison d'environ une oscillation pour deux tours de machines. Pour rechercher si la cause était due aux régulateurs, on étrangla l'arrivée de vapeur, les deux machines marchant en parallèle à vide, jusqu'à ce que les boules des deux régulateurs fussent complètement appliquées sur leur arbre, ce qui arriva pour 90 t : m. Aussitôt, les courants parasites cessèrent et la marche fut parfaite, ce qui mettait bien en relief la cause annoncée. On ajouta un frein à huile, tel que pour une machine mise brusquement en pleine charge ; le régulateur atteignit sa position au bout de 7 secondes : la vitesse tombait alors de 3 p. 100 et se relevait de 2,5 p. 100, ne laissant ainsi qu'un écart de 0,5 p. 100 ; après cette modification, le fonctionnement de l'installation ne laissa plus rien à désirer.

Les oscillations périodiques dans la vitesse angulaire des moteurs à vapeur ou à gaz, dues aux variations du couple moteur et à l'inertie des masses en mouvement alternatif, sont beaucoup plus gênantes et ne peuvent théoriquement être annulées que par l'emploi d'un volant infiniment lourd ; il importe donc d'étudier dans quelles limites on obtiendra un fonctionnement satisfaisant au point de vue électrique, sans pour cela employer un volant trop lourd et par conséquent trop coûteux.

L'écart admissible entre la vitesse angulaire instantanée et la vitesse moyenne dépend de l'intensité admise pour le courant de circulation qui résulte de cette variation dans deux machines marchant en parallèle.

Considérons un alternateur générateur commandant un moteur synchrone ; les deux machines ayant un courant de court-circuit égal à trois fois le courant normal, que nous supposerons égal à 1. L'impédance de chaque machine est alors $\frac{E}{3}$, E désignant les tensions étoilée ou vectorielle, suivant qu'on considère l'impédance d'une seule phase ou l'impédance des n phases supposées réunies en série (impédance vectorielle de M. Blondel).

Si on désigne par α la différence de phase entre les tensions E des deux machines, le courant de circulation pourra être considéré comme dû à l'action de la force électromotrice, résultante égale à $2E \sin \frac{\alpha}{2}$, sur un circuit comprenant en série les impédances des deux machines et par suite aura pour expression

$$i = \frac{2E \sin \frac{\alpha}{2}}{2 \frac{E}{3}} = 3 \sin \frac{\alpha}{2}.$$

L'expérience ayant montré que ce courant ne doit pas dépasser de 8 à 15 p. 100 du courant total, on aura les deux limites de $\frac{\alpha}{2}$,

$$\frac{\alpha}{2} = 1^\circ,5 \quad \text{pour } i = 0,08$$

$$\frac{\alpha}{2} = 3^\circ \quad \text{pour } i = 0,15 ;$$

La valeur 3° correspond à des machines munies de masses de cuivre entre les pôles ou de tout autre amortisseur, ayant pour résultat d'affaiblir ce courant de circulation, et la valeur 1°,5 aux machines qui n'en sont pas pourvues ; nous prendrons dans ce qui va suivre $\frac{\alpha}{2} = 2^\circ,5$.

Cet angle $\frac{\alpha}{2}$ représente l'écart admissible entre la position de la manivelle à un moment quelconque et celle d'une manivelle idéale tournant à une vitesse uniforme égale à la vitesse moyenne de la machine, pour un alternateur bipolaire : il est évident que dans un alternateur à $2p$ pôles, cet écart angulaire doit être p fois plus petit, soit $\frac{2^\circ,5}{p}$.

D'après l'auteur, l'écart admissible fixé à $\frac{2^\circ,5}{p}$ correspond au cas d'une machine à simple effet et doit être multiplié par N, N représentant le nombre de coups de piston différents dans une révolution (N = 2 pour les machines à vapeur monocylindriques ou compound tandem à double effet ; N = 4 pour les machines compound à deux cylindres en parallèle, et manivelles décalées de $\frac{\pi}{2}$; N doit encore être pris sensiblement égal à 4 pour les machines à trois manivelles

....

décalées, à cause de l'action des masses en mouvement alternatif) (1).

L'auteur indique alors un procédé simple pour le calcul du volant.

Soit à obtenir un écart maximum de $\frac{2°,5}{p}$. Le diamètre maximum admissible pour le volant est donné par la pratique et dépend de la vitesse périphérique moyenne v. Cette vitesse varie à chaque demi-impulsion de v_1 à v_2. L'énergie W, que le volant emmagasine pendant le passage de la vitesse v_1 à v_2 et qu'il restitue dans l'autre demi-impulsion, a pour expression :

$$W_1 = \frac{P}{2g}(v^2_2 - v_1^2),$$

où P est le poids du volant supposé ramené à la périphérie et g l'accélération de la pesanteur en m : sec, 9,81 : sec W_1 étant exprimé en kilogrammètres.

Le rapport

$$\frac{v_2 - v_1}{2v} = \mu$$

s'appelle le coefficient d'irrégularité ; on peut aussi l'écrire (2) en faisant $\frac{\alpha}{2} = 2°,5$

$$\mu = \frac{2 . \frac{2N\alpha}{p}}{2.360} = \frac{1}{72} \frac{N}{p}. \text{ (1)}$$

(1) N. D. T. Cette façon de procéder nous paraîtrait nécessiter de plus amples explications. En effet, si on compare deux machines à vapeur de même puissance et de même vitesse angulaire moyenne, portant deux volants égaux, l'une à simple effet, l'autre à n impulsions par tour, il est clair que la première donnera lieu à un écart angulaire maximum sensiblement n fois plus grand que la seconde : mais on ne voit pas pourquoi l'écart maximum *admissible* pourrait être n fois plus grand dans la seconde que dans la première, ce qui reviendrait à dire qu'un courant de circulation n fois plus grand, et se produisant n fois par tour, n'aurait pas d'effet plus sensible qu'un courant d'intensité 1, qui n'aurait lieu qu'une fois par tour ?

(2) On obtient cette formule en supposant que le mouvement relatif de la manivelle vraie par rapport à la manivelle marchant à vitesse uniforme s'effectue avec une vitesse uniforme tantôt dans un sens, tantôt dans l'autre, la vitesse relative angulaire en degrés étant à un moment quelconque,

$$\omega' = \frac{\alpha}{p} : \frac{T}{2N},$$

T désignant la durée d'une révolution ; d'ailleurs, si ω désigne la vitesse angulaire moyenne, on a

$$\omega = \frac{360}{T}$$

$$\mu = \frac{2\omega'}{2\omega} = \frac{\omega'}{\omega}.$$

d'où par division la formule de l'auteur.

La supposition faite n'est pas exacte, mais elle conduit à des résultats suffisants pour la pratique.

D'ailleurs

$$v_2^2 - v_1^2 = v^2\left[(1+\mu)^2 - (1-\mu)^2\right] = 4\mu v^2$$

et par suite

$$W_1 = \frac{P}{2g} . 4\mu v^2$$

ou

$$P = \frac{gW_1}{2\mu v^2}.$$

La quantité W_1 peut être déduite des diagrammes ; mais elle est la plupart du temps donnée par le constructeur, soit directement, soit sous la forme d'un facteur K, rapport entre cette valeur W_1 et le travail total correspondant à un tour.

Exemple. — Soit un alternateur triphasé de 1 500 kilowatts, type volant, conduit par une machine à vapeur compound à 90 t : m. Fréquence, 60 ; $2p = 80$; $K = 0,05$. Adoptons $\frac{\alpha}{v} = 2°,5$; $N = 4$.

μ se calcule par la formule (1),

$$\mu = \frac{1}{72} \frac{4}{40} = 0,00139 ;$$

Si on prend un rendement de 0,95 et une puissance de 1 500 kilowatts, il vient

$$W_1 = 0,05 \frac{1.500 . \times 75 \times 60}{0,736 \times 0,95 \times 90} = 5400 \text{ kgm}.$$

Si nous adoptons un diamètre à l'entrefer de 5,30 m, soit $v = 25$ m : sec nous aurons

$$P = \frac{9,81 \times 5400}{25^2 \times 0,00278} = 30\,000 \text{ kg},$$

ou, donnée habituellement employée par les fabricants,

$$PD^2 = 30\,000 \times \overline{5,3}^2 = 840\,000 \text{ kgm}^2$$

(moment d'inertie 210 000 kg à 1 m de rayon [1]).

Détermination expérimentale du coefficient d'irrégularité. — L'auteur adopte le dispositif suivant très ingénieux :

Une roue de bicyclette C (fig. 1) munie de caoutchouc, est appliquée contre le volant, soit

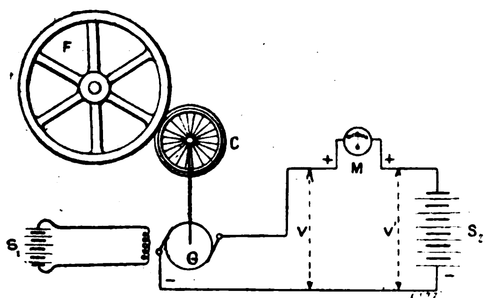


Fig. 1.

à l'extérieur, soit à l'intérieur; elle est accouplée sur l'arbre d'une petite dynamo de un demi-kilowatt environ (dans l'essai de l'auteur, la dynamo était constituée par un moteur de ventilateur donnant 70 volts); la dynamo est excitée indépendamment par une batterie S_1, et ses pôles sont connectés en opposition avec ceux d'une seconde batterie S_2 d'accumulateurs, par l'intermédiaire d'un voltmètre Weston, dont l'échelle correspond à 2 ou 3 volts. On règle l'excitation de façon que la tension V du générateur soit exactement égale à la tension V' des accumulateurs, pour la vitesse moyenne du volant. Chaque modification de la vitesse du volant donne lieu à une variation de voltage de la dynamo, enregistrée par le voltmètre Weston, qui oscille continuellement entre 0 et une certaine valeur maximum (l'aiguille est calée pendant une moitié de chaque impulsion); si la lecture maximum est n, on a évidemment

$$\mu = \frac{n}{2V}.$$

Dans son essai, l'auteur a trouvé $\mu = 0{,}00143$, tandis que le calcul avait donné 0,00139.

En terminant, l'auteur fait remarquer que, au point de vue des perturbations que nous venons d'étudier, les machines à grande vitesse sont de beaucoup les meilleures, et que la vraie solution de la bonne marche en parallèle consisterait dans l'emploi de turbines à vapeur qui ont un couple constant et ne présentent aucune pièce en mouvement alternatif. A. MAUDUIT.

(1) On remarquera que dans cet exemple, l'auteur, bien qu'étudiant une machine compound où $N = 4$, conserve pour $\frac{x}{p}$ la valeur $2°,5$, au lieu de prendre $2°,5 \times N$, comme il le dit dans le passage qui fait l'objet de la note 1 de la page 434.

Essais de grands transformateurs, par **John S. Peck.** *Electrical World and Engineer*, t. XXXVII, n° 25, p. 1083, 22 juin 1901.

Les plus grands transformateurs statiques qui aient été construits jusqu'à ce jour sont les sept transformateurs Westinghouse de 2 250 kilowatts (3 000 HP) récemment installés par la « Cataract Power and Conduit Company » de Buffalo N.-Y.

Ces transformateurs sont disposés pour connexion en triangle sur les deux enroulements haute et basse tension, et forment deux groupes de trois transformateurs chacun, un transformateur étant conservé comme unité de réserve. Les transformateurs sont placés dans une sous-station près de Buffalo; ils réduisent la tension du circuit de transport alimenté par l'usine des chutes du Niagara, de 22 000 volts à 11 000 volts pour la distribution de courant dans la ville et aux alentours, parce que l'emploi de la tension de 22 000 volts dans le système de distribution souterrain de Buffalo est considéré comme impraticable.

L'enroulement est composé d'un certain nombre de bobines étroites juxtaposées, les bobines primaires et les bobines secondaires étant souvent alternées, dans le but d'assurer un réglage rigoureux à toutes les charges quel que soit le facteur de puissance. De nombreux évents ont été prévus entre les bobines, pour permettre une libre circulation d'huile à travers toutes les parties de l'enroulement, et exclure les risques d'un échauffement local. Les tôles sont superposées horizontalement en paquets séparés par de nombreux intervalles avec canaux de ventilation.

L'enveloppe du transformateur est faite de tôle à chaudières, rivée, avec tous les joints et rivets parfaitement calfatés à chaud. Elle repose sur un socle en fonte et est munie à la partie supérieure d'un couvercle en fonte. Deux grandes ouvertures ménagées dans le couvercle facilitent l'examen de l'intérieur du transformateur et l'accès de la plaque terminale.

Le refroidissement de l'huile est obtenu par une circulation d'eau qui se fait dans quatre serpentins en laiton placés à l'intérieur de l'enveloppe, et au-dessous de la surface de l'huile. Les quatre serpentins sont reliés en parallèle de telle sorte, que dans l'enveloppe, si l'un des tubes se détériore, on peut le séparer des autres.

La température du bain à un instant quelconque est fournie par un thermomètre « Standard » fixé sur un des côtés de l'enveloppe et dont la cuvette est plongée dans l'huile du bain. Ce thermomètre est établi de telle sorte que, si, à un moment donné, la température excède une certaine valeur fixée d'avance, la colonne thermométrique ferme le circuit d'une pile et une sonnerie électrique montée sur le même circuit se met à fonctionner et attire l'attention du surveillant. Un niveau indique la hauteur de l'huile et une valve de grandes dimensions est placée à la partie inférieure de la cuve, pour permettre de vider rapidement celle-ci, en cas de besoin.

Les extrémités des différentes bobines sont amenées à une plaque terminale en marbre, placée au-dessus du transformateur, mais, au-dessous du niveau de l'huile. Les plombs protégeant la ligne sont placés dans des manchons à la partie supérieure de la cuve et reliés aux bornes convenables, sur la plaque terminale portant les connexions.

Bien que ces transformateurs fussent primitivement destinés à abaisser la tension de 22 000 volts triphasés, à 11 000 volts triphasés, ils sont disposés de telle sorte qu'ils peuvent être connectés pour un certain nombre de voltages ; c'est ainsi que l'enroulement basse tension est disposé pour l'une ou l'autre des tensions 2 200 ou 11 000, et l'enroulement haute tension pour l'une ou l'autre des tensions 11 000 et 22 000. Les enroulements sont établis de telle sorte que les transformateurs peuvent être utilisés avec la connexion Scott à deux et trois phases pour transformer du triphasé en diphasé ou pour la transformation du triphasé en triphasé, avec le montage en triangle. Un certain nombre de spires sont séparées des enroulements de telle sorte que les voltages peuvent être obtenus d'environ 5 p. 100 plus élevés ou plus bas que ceux indiqués ci-dessus.

Comme la force électromotrice des génératrices aux chutes du Niagara est de 2 200 volts triphasés, les transformateurs peuvent être utilisés aux stations d'énergie comme transformateurs élévateurs, marchant de 2 200 volts biphasés à 11 000 ou 22 000 volts triphasés ; ou bien ils peuvent être employés comme transformateurs réducteurs en un point quelconque de la ligne, pour abaisser la tension de 11 000 ou 22 000 volts triphasés, à 2 200 volts diphasés ou triphasés. Ces différentes combinaisons de voltages et de phases se font aisément par de simples changements de connexion sur la plaque terminale du transformateur.

Les hautes garanties d'exécution sous lesquelles ces transformateurs ont été construits ont été mises en évidence par les essais résumés ci-dessous, dont les résultats ont été obtenus avec une marge très acceptable. Le tableau suivant donne les valeurs garanties du rendement et celles qui sont actuellement obtenues. Dans tous les cas on a indiqué la moyenne obtenue avec les sept transformateurs.

	RENDEMENT P. 100			
	Pleine charge.	3/4 de charge.	1/2 charge.	1/4 de charge.
Actuel	98.65	98,58	98,33	97,2
Garanti	98,40	98.40	98,20	97

	Charge non inductive.	Charge correspondant à un facteur de puissance de 0.8
Régulation actuelle	0,76	1,8
— garantie	1,10	3

	Élévation de température des bobines mesurée par l'augmentation de la résistance.
Température actuelle	28,7 p. 100
— garantie	40 —

Tous les transformateurs résistèrent aux essais suivants :

a. 45 000 volts appliqués pendant une minute entre les enroulements haute et basse tension, et entre l'enroulement haute tension et la masse.

b. 22 500 volts appliqués pendant une minute entre l'enroulement basse tension et la masse.

c. Deux fois et quart la tension normale (22 000) appliquée pendant trente minutes à l'enroulement basse tension, donnant un maximum de 49 400 volts dans l'enroulement haute tension.

En mesurant les résistances des enroulements on observa quelques phénomènes intéressants. Quand on effectue ces mesures, il est néces-

saire, pour des raisons qui seront exposées plus loin, de mettre en court-circuit un des enroulements pendant qu'on procède aux mesures sur l'autre. On trouva que les mesures de résistance faites à différents moments ne concordaient pas les unes avec les autres. Ce phénomène a déjà été observé auparavant, mais jamais à un pareil degré.

Les expérimentateurs furent très surpris de voir, après que les mesures avaient été effectuées sur un transformateur, et que ce dernier était resté pendant plusieurs minutes complètement hors circuit, se produire un arc intense lorsqu'on coupa la connexion du court-circuit.

La considération des actions qui se produisent dans les transformateurs, dans les conditions où l'on effectuait les mesures, montra clairement la cause de ces particularités.

La résistance était mesurée par la méthode de la chute de potentiel. Un courant continu circulait à travers l'enroulement, et la chute de tension était mesurée avec un voltmètre. D'après les lectures de l'intensité et du voltage, on calculait la résistance. On se servait du circuit d'une batterie d'accumulateurs, à 110 volts, et l'intensité du courant dans tous les cas était d'environ 6 ampères. Avec ce courant, la chute de potentiel à travers l'enroulement était, dans la plupart des cas, bien inférieure à 1 volt, de telle sorte qu'il était nécessaire d'insérer une forte résistance en série avec l'enroulement.

Lorsqu'un courant continu est envoyé dans un enroulement de transformateur, il fait naître un champ magnétique dans le fer du noyau. De faibles variations dans le courant produiront des variations dans l'intensité du champ magnétique qui, se modifiant, induira des forces électromotrices élevées dans l'enroulement du transformateur, et mettra en danger les appareils en circuit. Il est capital, pour obvier à ce danger, de mettre en court-circuit un des enroulements, parce que, s'il se produit une variation subite dans le champ magnétique, un courant sera induit dans l'enroulement en court-circuit, courant dont la variation s'oppose au changement d'intensité du champ.

L'enroulement en court-circuit agit donc comme un amortisseur pour empêcher une variation soudaine dans le champ magnétique, et le voltage de haute induction qui l'accompagne.

Lorsque le courant continu passe à travers l'enroulement, le champ magnétique qui prend naissance atteindrait très rapidement sa valeur maximum, s'il n'était pas amorti par l'enroulement en court-circuit ; mais, à cause de cet enroulement, l'accroissement d'intensité du champ magnétique est lent, et un laps de temps considérable est nécessaire pour que le champ atteigne sa valeur maximum. Pendant que le champ magnétique prend ainsi naissance, il se produit dans l'enroulement du transformateur une force électromotrice induite de direction telle qu'elle s'ajoute à la force électromotrice due à la résistance de l'enroulement ; l'indication du voltmètre est alors plus élevée qu'elle ne devrait être, si l'on considérait seulement la résistance de l'enroulement, et la véritable perte de charge due à la résistance s'obtiendra seulement après que le champ aura pris une valeur stationnaire.

La figure 1 montre trois courbes donnant le

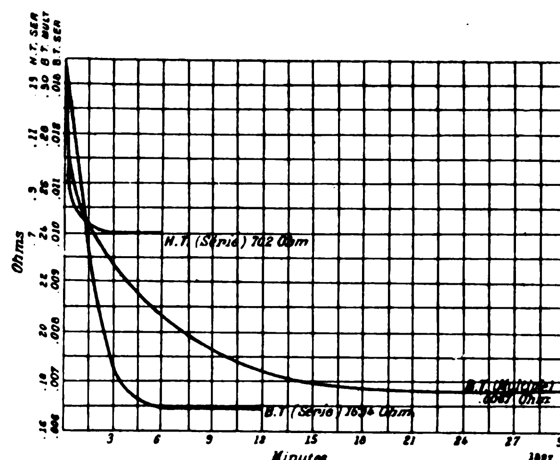


Fig. 1. — Rapport de la résistance au temps.

rapport entre la résistance apparente de l'enroulement et le temps compté à partir de l'instant où le courant fut envoyé à travers l'enroulement. Une des courbes montre l'enroulement haute tension tout entier en série, une autre l'enroulement basse tension tout entier en série, tandis qu'une troisième montre l'enroulement basse tension en quantité. Il est à remarquer qu'il fallait environ trente minutes pour que la résistance, avec toutes les bobines basse tension montées en parallèle prît une valeur stationnaire et exacte. Avec toutes les bobines

haute tension montées en série, la résistance atteint une valeur stationnaire en trois minutes environ.

Cette différence de temps provient d'une différence dans la force magnésante. Avec toutes les bobines haute tension montées en série, il faut dix fois moins de temps qu'avec les bobines basse tension montées toutes en parallèle, et, puisque le même courant est utilisé dans les deux cas, les ampères-tours sont dix fois aussi nombreux dans le premier cas que dans le second, et l'état magnétique du fer est plus rapidement amené à une valeur stationnaire.

Si l'enroulement n'est pas en court-circuit, on trouve que la résistance prend une valeur fixe presque instantanément ; mais, outre qu'on met en danger les instruments, il est souvent très difficile de faire les lectures au voltmètre, à cause des variations rapides dans le voltage dues aux variations faibles mais soudaines du champ magnétique. Il est cependant possible d'ouvrir l'enroulement en court-circuit, pendant un temps court, jusqu'à ce que le champ magnétique devienne constant, puis de fermer le circuit et de supprimer ainsi les oscillations rapides.

Avant de mesurer la résistance du transformateur, il y a lieu, évidemment, de s'assurer qu'un régime constant a été atteint.

Lorsqu'on ouvre le circuit de courant continu, le champ tomberait presque instantanément à une valeur minimum, si l'enroulement en court-circuit ne s'y opposait ; mais le courant induit dans cet enroulement par le champ qui s'affaiblit prolonge l'existence de ce champ de telle sorte qu'il faut plusieurs minutes pour qu'il disparaisse entièrement. C'est parce que le champ s'affaiblit que l'arc jaillit lorsqu'on ouvre la connexion de court-circuit.

Les pertes dans le fer des transformateurs furent mesurées au moyen d'un wattmètre, par le procédé ordinaire. Cette méthode de mesure donne la perte totale dans le fer, et ne sépare pas l'hystérésis des courants de Foucault. En raison des grandes dimensions de ces transformateurs, on désirait séparer les pertes dans le fer, dans le but de déterminer si le rapport que l'on trouve entre les pertes par hystérésis et les pertes par courants de Foucault dans de petits transformateurs d'essais reste le même dans les grands transformateurs.

Dans le but de faire cette séparation, on détermina la perte par hystérésis par une méthode, imaginée par M. C.-F. Scott pour mesurer les pertes par perméabilité et par hystérésis dans l'anneau inducteur d'une des génératrices de 5 000 chevaux du Niagara. Ce fut, cependant, la première fois que cette méthode fut appliquée à la mesure des pertes par hystérésis dans un transformateur.

Les connexions et appareils utilisés pour faire ces mesures sont visibles sur la figure 2. Dans

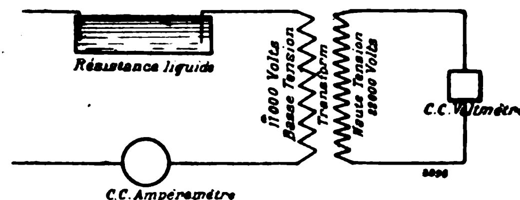


Fig. 2. — Mesure de la perte par hystérésis.

l'enroulement à 11 000 volts on voit intercalés un ampèremètre à courant continu et un rhéostat à liquide ; ce dernier étant disposé de telle sorte qu'on puisse faire varier la résistance de très faibles quantités sur une large étendue. En dérivation sur le circuit à 22 000 volts (secondaire) est monté un voltmètre à courant continu.

Si on fait passer un courant continu à travers l'enroulement à basse tension, un champ magnétique prend naissance dans le fer. Si on augmente ou si on diminue graduellement le courant, le champ magnétique croîtra ou décroîtra. Ce champ variable induit dans l'enroulement du transformateur une force électromotrice qui peut être mesurée avec le voltmètre monté sur l'enroulement haute tension. Si la variation du champ magnétique est uniforme, il y aura une force électromotrice constante engendrée dans l'enroulement, et l'aiguille du voltmètre restera stationnaire.

On trouva qu'une variation d'environ six unités C. G. S., par centimètre carré et par seconde, donnait une indication de 0,1 volt au voltmètre. En surveillant de près l'aiguille du voltmètre, on peutmodifier la résistance de façon à maintenir une déviation constante correspondant à 0,1 volt. En opérant avec du fer démagnétisé, au bout d'une seconde l'induction était de 6 unités par centimètre carré, au bout de deux secondes 12 unités, au bout de trois

secondes 18 unités etc. ; de telle sorte que le temps écoulé depuis le début de l'essai donna une mesure de l'induction dans le fer. La méthode utilisée pour obtenir les courbes, fut la suivante :

Partant d'un courant nul, la résistance était réglée de manière à donner une déviation constante dans le voltmètre. Quand l'induction maximum désirée fut atteinte, le voltmètre fut inversé et le courant graduellement diminué jusqu'à zéro ; ensuite le sens du courant fut renversé, et le courant graduellement augmenté jusqu'à un maximum négatif ; puis le voltmètre fut de nouveau inversé, et le courant diminué jusqu'à zéro, pour compléter ainsi le cycle. On fit la lecture du courant toutes les cinq secondes de telle sorte qu'avec une déviation de 0,1 volt, le point de départ et le point d'arrivée furent très rapprochés. Les instruments étaient disposés de telle sorte qu'un cycle complet put être parcouru complètement sans un moment d'arrêt en un point quelconque.

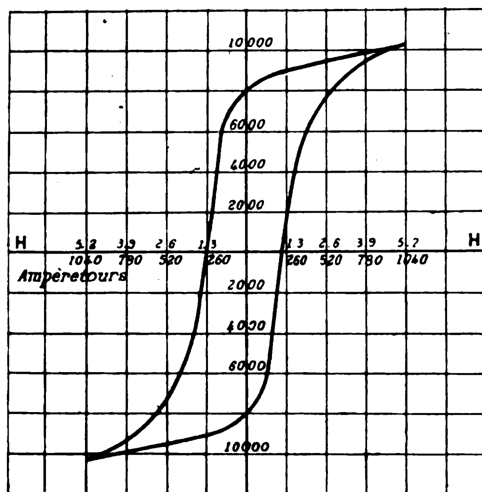


Fig. 3.

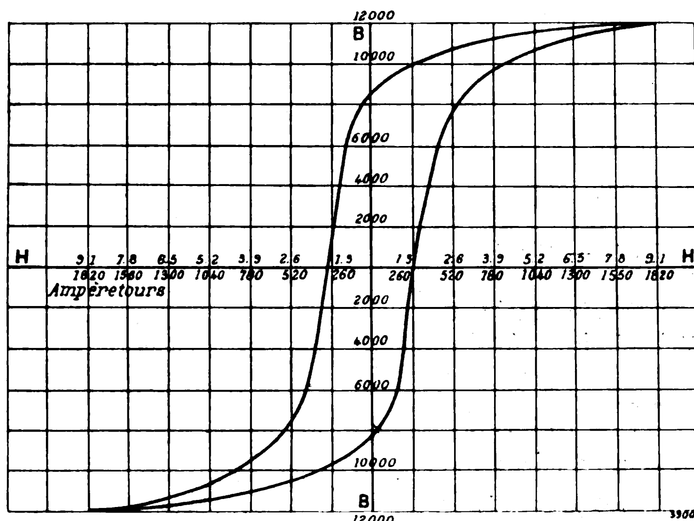


Fig. 4.

Pour faire les lectures, il faut quatre opérateurs : l'un pour faire varier la résistance, et maintenir ainsi les indications du voltmètre constantes, un autre pour indiquer à distance les intervalles de temps pour les lectures, un autre pour faire la lecture de l'ampèremètre, et un quatrième pour noter les lectures.

Dans le but de préparer le fer pour l'essai, on faisait parcourir au fer du transformateur le cycle complet plusieurs fois avant de faire les lectures. Avec cette méthode, il était par conséquent nécessaire de placer l'axe horizontal de la courbe après que celle-ci était tracée, mais ceci pouvait être fait sans difficulté, dès que la courbe était fermée sur elle-même ; on trouva que la courbe était à peu près rigoureusement symétrique par rapport au point d'intersection des deux axes.

La perte par hystérésis par cycle est représentée par la surface de la boucle, et fut trouvée égale à 3958 ergs par cycle pour une induction de 10 260 gauss (fig. 3), et égale à 5 120 ergs par cycle pour une induction de 11 980 gauss (fig. 4).

En utilisant l'équation $L = KB^{1,6}$ dans laquelle L est la perte par hystérésis en ergs et B l'induction maximum, on trouve K = 0,00152 pour une induction maximum de 10 260 gauss, et K = 0,001527 pour une induction maximum de 11 980 gauss.

Si l'on considère ce fait que le circuit magnétique est plutôt vaste, et que l'induction ne peut y être distribuée également, la constante d'hystérésis est tout à fait petite, et plus faible que celle qu'on obtient souvent avec des transformateurs de petites dimensions.

Les pertes par courants de Foucault s'obtiennent en retranchant les pertes par hystérésis des pertes totales dans le fer. Pour une induction de 10 260 gauss, la perte par courants de Foucault est de 4,09 kilowatts par transformateur,

et de 5,95 kilowatts avec une induction de 11980 gauss. En admettant que cette perte varie comme le carré de l'induction, et qu'elle est de 4,09 kilowatts à 10260 gauss, on devra avoir $4{,}09 \times \frac{11980^2}{10260^2} = 5{,}56$ kilowatts à 11980 gauss. La valeur mesurée 5,9 est d'environ 7,5 p. 100,

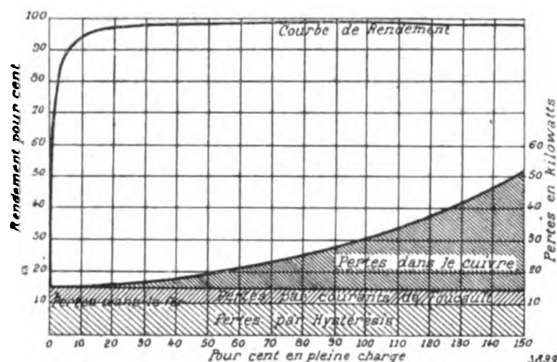


Fig. 5. — Courbes des pertes et du rendement.

plus élevée, mais cette différence peut être attribuée à la distribution inégale du flux dans les différentes parties du circuit.

La simplicité de cette méthode pour mesurer la perte par hystérésis dans un transformateur, apparaît immédiatement. Il est d'un intérêt capital, cependant, de poser en fait, que c'est la seule méthode pratique imaginée jusqu'ici, pour mesurer cette perte dans un transformateur tout monté.

Roesch.

Survolteurs-dévolteurs de la Compagnie l'Industrie Électrique, de Genève. — Renseignements communiqués par les constructeurs.

Les batteries d'accumulateurs, dont l'emploi dans les usines de distribution se développe de plus en plus, peuvent être utilisées de diverses manières pour régulariser la différence de potentiel aux barres du tableau de distribution.

Dans les usines d'éclairage, la batterie d'accumulateurs, disposée en parallèle entre les bornes de la dynamo génératrice, comporte un nombre plus ou moins grand d'éléments de réduction que l'on intercale successivement dans le circuit de la batterie, à mesure que la consommation augmente et que, par suite, la tension aux bornes diminue; la batterie vient en aide à la dynamo pendant les périodes de forte consommation et est chargée par celle-ci pendant le jour; dans certains cas, l'augmentation de tension nécessaire à la charge de la batterie est obtenue simplement en augmentant l'excitation de la machine dynamo; dans d'autres, on est obligé de mettre en série avec celle-ci un survolteur.

Dans les usines de traction où les variations de débit sont très importantes et très rapides et ne pourraient, par conséquent, être compensées par la mise en circuit ou hors circuit des éléments de réduction, ces éléments sont supprimés et la batterie entière se trouve toujours en parallèle avec la dynamo génératrice. La batterie se charge donc quand, la consommation étant faible, la tension aux bornes de la dynamo est proche de sa valeur maximum; elle se décharge quand, par suite d'une augmentation de la consommation, la tension aux bornes de la dynamo descend au-dessous d'une certaine limite. Mais il est évident que, à cause de la chute de tension due à la résistance intérieure de la batterie, il existe un écart assez considérable entre la tension, au-dessus de laquelle la batterie peut se charger et la tension au-dessous de laquelle elle se décharge. La régulation de la tension aux barres du tableau ne peut donc être que très grossière; en fait, les batteries-tampons employées dans les usines de traction, en parallèle avec des dynamos génératrices de 500 volts environ, laissent subsister des écarts de tension de 50 volts environ.

L'emploi des éléments de réduction dans les usines d'éclairage, l'irrégularité de la tension dans les usines de traction, peuvent être évités en disposant en série, sur le circuit de la batterie, un survolteur-dévolteur ayant pour effet d'augmenter la tension du courant de charge et de diminuer celle du courant de décharge. Ce but est atteint en constituant le circuit d'excitation du survolteur-dévolteur d'au moins deux enroulements (trois sont préférables, d'ailleurs, pour avoir une meilleure régulation de la tension) et l'on peut obtenir ainsi une tension constante entre les barres du tableau de distribution.

Ces survolteurs-dévolteurs, dont l'emploi commence à se répandre, sont également des plus utiles dans les sous-stations transformatrices où des courants alternatifs sont transformés en courants continus au moyen de commutatrices. Ces dernières machines donnant, en effet, une ten-

sion sensiblement constante entre leurs bornes, quelle que soit la charge, une batterie d'accumulateurs disposée en parallèle avec une commutatrice, ne peut être utilisée que si, à chaque instant et suivant le sens de la variation de la charge, la tension du courant fourni ou absorbé par la batterie est amenée à la valeur de la tension aux bornes de la commutatrice.

Nous reviendrons bientôt sur l'emploi général des survolteurs-dévolteurs ; pour l'instant, nous nous bornerons à décrire, d'après des renseignements fournis par la Compagnie l'Industrie Électrique, de Genève, deux installations faites par cette compagnie dans des sous-stations de transformation à commutatrices.

1° *Installation de la Société italienne des Chemins de fer de la Méditerranée.* — Comme il a été dit dans un article récemment publié [1], la Compagnie des Chemins de fer de la Méditerranée vient de commencer des essais de traction par courant continu sur la ligne de Porto-Ceresio à Milan par Varèse et Gallarate.

La distance entre Porto-Ceresio et Milan étant d'environ 74 km, l'énergie nécessaire à la propulsion des trains est fournie par cinq sous-stations de transformation réparties le long de la voie à des distances à peu près égales entre elles. La distance la plus grande entre deux sous-stations consécutives est de 18 km.

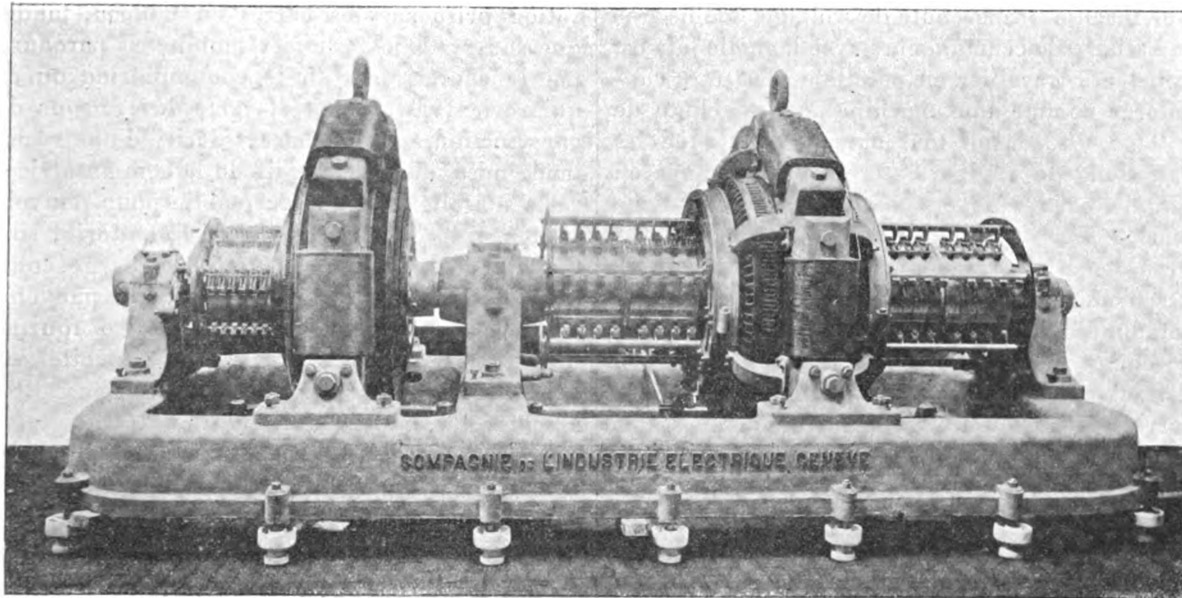


Fig. 1. — Survolteur-dévolteur de la Compagnie l'Industrie Électrique.

Une double ligne haute tension triphasée à 12 000 volts court le long de la voie et alimente les cinq sous-stations dans lesquelles des transformateurs statiques abaissent la tension à 405 volts et alimentent à leur tour des commutatrices qui fournissent du courant continu à la tension de 650 volts. La distribution de ce courant se fait par troisième rail avec retour par la terre. Les sous-stations sont ainsi couplées en parallèle et alimentent tour à tour les trains à mesure que ceux-ci se déplacent sur la voie.

Le régime de ces sous-stations est donc essentiellement variable et l'on comprend que l'expérience ait démontré la nécessité de les équiper de batteries d'accumulateurs qui, travaillant en parallèle avec les commutatrices, en régularisent le débit en fournissant les suppléments d'énergie nécessités par les démarrages, courbes, rampes, etc., et en se rechargeant ensuite lorsque le débit extérieur devient nul par suite des passages des trains sur les autres tronçons.

Actuellement, sur quatre sous-stations équi-

[1] J. Reyval. — La traction électrique sur les chemins de fer Milan-Gallarate-Varèse-Porto Ceresio-Laveno-Arona. *L'Éclairage Électrique*, t. XXIX, p. 164, 2 novembre 1901.

pères, une seule, celle de Gazzada, possède une batterie d'accumulateurs de 323 éléments pouvant fournir un débit maximum de 600 ampères et un groupe survolteur-dévolteur automatique (fig. 1) dont le but est de maintenir le voltage constant à l'usine tout en forçant la batterie à fournir instantanément les pointes de courant demandées par le réseau, d'une part et, d'autre part, à absorber *instantanément* le courant devenu disponible par suite de la cessation de la demande extérieure.

Pour se rendre compte de la difficulté, il y a lieu de remarquer que la commutatrice est une machine sans chute de voltage, tandis que la batterie d'accumulateurs avec laquelle elle est appelée à travailler en parallèle peut être considérée comme une machine à forte chute de voltage. Il s'ensuit tout naturellement que les variations de régime extérieur sont subies en grande partie par la commutatrice et qu'une marche acceptable des deux éléments constitutifs du système n'est possible qu'en ayant recours à des artifices tels que mise dans le circuit de la commutatrice d'une résistance à self-induction ou compoundage en sens inverse, etc.

Dans la marche en tampon simple, donc sans survolteur-dévolteur, malgré ces artifices les à-coups instantanés ne sont atténués que dans une certaine mesure par la batterie et, à l'usine génératrice, la mise à disposition de puissances plus grandes que ne l'exige la consommation moyenne de la journée est nécessaire.

C'est donc pour parer à ces inconvénients que la batterie a été pourvue d'un survolteur-dévolteur automatique dont la tâche est, non plus de maintenir constant le voltage aux barres du tableau, puisque ce voltage est fixe du fait de l'emploi d'une commutatrice, mais bien de maintenir le débit de celle-ci constant, ou mieux encore de maintenir constants les watts fournis par la commutatrice et cela quel que soit l'état de charge ou de décharge de la batterie.

A cet effet, l'induit de la survoltrice est intercalé en série avec la batterie, son inducteur est excité séparément par un double enroulement, l'un à fil fin, pris en dérivation aux bornes de la batterie et sur lequel agit le régulateur automatique à déclic, l'autre à gros fil parcouru par le courant total dont l'effet instantané est de survolter ou de dévolter la batterie suivant le sens dans lequel la variation de régime se produit. Il ne laisse ainsi au régulateur automatique[1], dont la course se trouve réduite, qu'un travail d'ajustage et c'est grâce à ce double système de régulation que les plus fortes variations de régime de la sous-station restent pour ainsi dire inaperçues sur le circuit primaire. La commutatrice qui, dans notre cas, débite 160 ampères constants, travaille ainsi à charge invariable quelle que soit l'amplitude de la variation.

L'appareil de mesure du régulateur à déclic est ici wattmétrique et non voltmétrique ou ampèremétrique, comme c'est le cas ordinairement.

Son système inducteur est excité par une dérivation prise sur les barres du tableau, tandis que son système induit et mobile est parcouru par le courant total de la commutatrice ou ce qui revient au même, et pour des raisons de construction, par un courant dérivé d'une résistance mise dans le circuit de la commutatrice.

La survoltrice est donc établie pour pouvoir supporter le débit maximum de la batterie, soit 600 ampères, et pour permettre la charge complète de la batterie jusqu'à 2,7 volts par élément, moment auquel la survoltrice fournit $323 . 2,7 - 650 = 223$ volts. Sa capacité est donc de 223 volts $\times$ 600 ampères = 133 800 volts-ampères, le moteur qui l'entraîne étant établi pour fournir la puissance maxima en watts demandée à la survoltrice, soit environ 40 000 watts.

2. *Installation de la Société générale italienne Edison à Milan.* — Cette Société qui possède l'usine génératrice bien connue de Paderno, à 32 km de la ville de Milan, transforme, dans sa station de Santa Radegonda, l'énergie qu'elle en reçoit sous forme de courants triphasés à 3600 volts (courants qui ont eux-mêmes subi une réduction de tension de $\frac{12\,000}{3\,600}$ à l'entrée de la ville à Porta Volta) en courant continu de 3×115 volts pour la lumière, d'une part, et en courant de 550 volts pour la traction, d'autre part.

Cette Société voyant de jour en jour sa clientèle augmenter a dû songer à élever la capacité de son usine de transformation et elle l'a fait en installant de grandes batteries d'accumulateurs qui se chargent pendant la journée et se déchargent pendant la période de forte consommation. Cinq batteries lumière de 78 éléments chacune pouvant débiter un courant maximum de

[1] *Ecl. Elec.*, t. XXVI, p. 160, 2 février 1901.

4 000 ampères, et une batterie tramway de 260 éléments pouvant débiter un courant maximum de 2 500 ampères sont installées actuellement, ainsi que cinq groupes de survolteurs-dévolteurs automatiques.

Ces survolteurs-dévolteurs sont des machines à 6 pôles à 2 collecteurs qui, couplés en parallèle, permettent d'obtenir une tension maximum de 50 volts avec 4 000 ampères, et, couplés en série, une tension de 100 volts avec 2 000 ampères. Les deux régulateurs automatiques (un par pont) qui les commandent sont placés sur un même tableau de réglage combiné de telle sorte que l'une quelconque des batteries lumière puisse être couplée sur l'un ou l'autre des deux ponts et que l'un quelconque des survolteurs puisse faire le service de la batterie tramway, les deux collecteurs étant au préalable mis en série.

MOTEURS

Calcul de la puissance des moteurs de tramways, par **Maximilien Müller**. *Elektrotechnische Zeitschrift*, t. XXII, p. 921, 7 novembre 1901.

Jusqu'à ce jour, on s'est contenté, pour déterminer le type d'un moteur de tramway, d'indiquer sa puissance normale pour la marche en palier, puissance définie par la condition que le moteur puisse la développer pendant une heure ou un autre laps de temps fixé, et sa puissance maximum pour les rampes les plus dures à franchir.

Cette façon de procéder, très simple d'ailleurs, part d'un mauvais principe.

En effet la puissance d'un moteur de tramway, comme de toute dynamo à courant continu est limitée surtout par la production au collecteur, d'étincelles qui ne tarderaient pas à le mettre hors service, si on dépassait pendant quelque temps la limite d'intensité ainsi déterminée. L'échauffement, au contraire, ne restreint pas d'une façon absolue l'intensité admissible, car il dépend non seulement du courant, mais aussi du temps pendant lequel la charge subsiste.

La loi qui définit les relations entre l'échauffement, la charge et la durée de la charge, est très compliquée. L'échauffement provient : 1° de l'effet Joule exprimé par ci^2 ; 2° de l'hystérésis et des courants de Foucault, qui sont fonction du courant et de la fréquence ; pour une tension déterminée, la fréquence est bien elle-même fonction de i, mais la tension n'est pas constante aux bornes d'un moteur de tramway, à cause de la chute de tension dans les conducteurs, de l'introduction fréquente de résistances dans le circuit, et des diverses sortes de couplage série ou parallèle.

Dans ce qui suit, nous négligerons cette seconde cause d'échauffement et poserons

$$q = \frac{R}{gA} i^2 = ci^2,$$

où q désigne la quantité de chaleur dégagée par seconde, R la résistance du circuit de l'induit et de l'inducteur, g l'accélération de la pesanteur, A l'équivalent mécanique de la chaleur, c la constante $\frac{R}{gA}$, où nous négligeons l'accroissement de R avec la température.

Ce dégagement de chaleur provoque un accroissement de température de l'induit et des inducteurs : nous le supposons pour simplifier le même dans ces deux parties et le désignons par θ. Par suite de la différence de température entre le moteur et l'air ambiant, une certaine quantité de chaleur q' par seconde se disperse, par rayonnement, conductibilité et convection.

On peut admettre que l'on a

$$q' = m\theta,$$

m étant une constante qui dépend de la construction et en particulier des surfaces de refroidissement, et que nous supposerons indépendante du nombre de tours.

Soit P le poids de cuivre des enroulements en kg, γ la chaleur spécifique du cuivre, la chaleur emmagasinée dans ces enroulements pendant le temps dt est donnée par

$$(q - q')\, dt = (ci^2 - m\theta)\, dt = \gamma P\, d\theta,$$

équation différentielle qui devient après séparation des variables

$$dt = \gamma P \frac{d\theta}{ci^2 - m\theta}.$$

Intégrant entre $t = 0$ et $t = t$, correspondant à $\theta = \theta_0$ et $\theta = \theta$, on obtient

$$t = \frac{\gamma P}{m} \text{L} \frac{ci^2 - m\theta_0}{ci^2 - m\theta}, \qquad (1)$$

expression qui donne le temps pendant lequel

le moteur partant d'un excès de température θ_0 sur l'ambiante, peut supporter un courant i avant de dépasser l'excès θ, pourvu que P, γ, m et c soient connus.

Posons pour simplifier $\frac{\gamma P}{m} = a$ et $\frac{m}{c} = b$, et introduisons les logarithmes vulgaires, il vient

$$t = 2{,}3\ a \log. \frac{i^2 - b\theta_0}{i^2 - b\theta}. \qquad (2)$$

Inversement, résolvant en θ, on obtient

$$\theta = \frac{i^2}{b}\left(1 - e^{-\frac{t}{a}}\right) + \theta_0 e^{-\frac{t}{a}} \qquad (3)$$

Cette dernière expression permet de calculer la courbe d'échauffement du moteur chargé à une intensité i, au bout de divers laps de temps.

Si on fait $\theta_0 = 0$, pour la valeur i_0 de i, telle que

$$i_0^2 = b\theta,$$

il vient,

$$\log. \frac{i^2}{i^2 - b\theta} = \infty,$$

soit

$$t = \infty,$$

ce qui veut dire que le moteur peut supporter indéfiniment le courant i_0, sans que l'excès de température dépasse la valeur θ, ces deux quantités étant liées par

$$i_0^2 = b\theta. \qquad (4)$$

Prenons comme exemple un moteur de la Compagnie Westinghouse, n° 38 B, qui peut supporter indéfiniment 31,6 A sans dépasser un excès de température de 75°. On en déduit

$$b = \frac{\overline{31{,}6}^2}{75^\circ} = 13{,}3.$$

Comme seconde donnée relative à l'échauffement, on sait que ce moteur peut supporter 80A pendant une heure, avec le même excès de température de 75°. Calculant t en minutes, on déduit de (2)

$$a = \frac{60 \times \log. e}{\log. \frac{6\,400}{5\,400}} = 353.$$

Avec ces données, nous pouvons résoudre tous les problèmes sur l'échauffement de ce moteur.

Ainsi le temps pendant lequel on pourra laisser passer 145 A avec échauffement maximum de 75° est

$$t = 2{,}30 \times 353 \times \log. \frac{\overline{145}^2}{\overline{145}^2 - 1\,000} = 17';$$

pour 100 A, ce serait

$$t = 2{,}30 \times 353 \times \log. \frac{\overline{100}^2}{\overline{100}^2 - 1\,000} = 36'6;$$

la Compagnie Westinghouse indique 17',5 et 35': la concordance est parfaite.

Pendant combien de temps le moteur pourra-t-il supporter 40 A, en partant d'un excès de température initial de 55°, sans dépasser 75°?

Réponse :

$$i = 2{,}30 \times 353 \times \frac{\overline{40}^2 - 13.3 \times 55}{\overline{40}^2 - 1\,000} = 130', \text{etc.}$$

Inversement, soit à construire la courbe des échauffements pour un courant constant de 32 A, pour des intervalles de temps de 135 minutes. L'équation (3) donne :

après 135',

$$\theta_1 = \frac{\overline{32}^2}{13{,}3}\left(1 - e^{-\frac{135}{353}}\right) = 24^\circ 5,$$

après $2 \times 135'$,

$$\theta_2 = \frac{\overline{32}^2}{13.3}\left(1 - e^{-\frac{135}{353}}\right) + \theta_1 e^{-\frac{135}{353}} = 41^\circ 2,$$

$$\theta_3 = 24^\circ{,}5 + 41^\circ{,}2\ e^{-\frac{135}{353}} = 52^\circ{,}6, \text{ etc.}$$

les valeurs suivantes étant en degrés :

θ_4	θ_5	θ_6	θ_7	θ_8	θ_9	θ_{10}
60,3	65,7	69,3	71,7	73,3	74,5	75,4

En faisant $i = o$ dans l'équation (3), on obtient la loi du refroidissement

$$\theta = \theta_0 e^{-\frac{t}{a}} \qquad (5)$$

Le moteur abandonné à lui-même, au repos, avec un excès de 75°, sera refroidi jusqu'à un excès de 5° seulement, au bout d'un temps t donné par l'équation

$$5 = 75\, e^{-\frac{t}{353}},$$

d'où

$t = 956$ minutes, soit près de 16 heures.

Le refroidissement est donc extrêmement lent.

Pendant une nuit de six heures, si on suppose la température constante, le refroidissement sera tel que l'excès devienne

$$\theta = 75\, e^{-\frac{360}{353}} = 27^\circ{,}5.$$

Les échauffements, après un certain nombre d'intervalles de 135 minutes, en partant de $\theta_0 = 27{,}5^\circ$, deviennent alors :

θ_0	θ_1	θ_2	θ_3	θ_4	θ_5	θ_6	θ_7	θ_8
27,5	43,2	53,9	61,1	66	69,5	71,7	73,3	74,5

ils ne tardent pas à se rapprocher des nombres du premier tableau.

Les considérations qui précèdent s'appliquent au cas d'une charge constante, cas qu'on peut réaliser dans des essais, mais non dans la pratique ordinaire, où la charge varie d'un instant à l'autre ; de plus le moteur est refroidi de diverses façons sous la voiture par le courant d'air. Cependant on peut essayer de calculer une intensité moyenne correspondant, au point de vue échauffement, aux diverses intensités qui circulent dans le moteur pendant les intervalles de temps successifs dont se compose la durée du voyage aller et retour d'une voiture.

On opère de la façon suivante :

On détermine, en se basant sur le profil en long et les graphiques de marche, les intensités i_1, i_2... i_n pendant les intervalles de temps t_1, t_2... t_n ; on suppose la température ambiante $= 25^\circ$, et la voiture à pleine charge, et on admet que ces conditions défavorables compensent les augmentations d'intensité dues à la maladresse des conducteurs et à l'augmentation éventuelle de la circulation. On applique alors la formule (3), en faisant la somme des résultats obtenus pour les différents intervalles de temps t_1, t_2... t_n.

On obtient facilement l'équation générale :

$$\theta_n = \frac{i_n^2}{b}\left(1 - e^{-\frac{t_n}{a}}\right) + \frac{i_{n-1}^2}{b}\left(1 - e^{-\frac{t_{n-1}}{a}}\right) e^{-\frac{t_n}{a}}$$
$$+ \frac{i_{n-1}^2}{b}\left(1 - e^{-\frac{t_{n-2}}{a}}\right) e^{\frac{t_n + t_{n-1}}{a}} + \ldots\ldots$$
$$+ \frac{i_1^2}{b}\left(1 - e^{-\frac{t_1}{a}}\right) e^{-\frac{\Sigma_2^n t}{a}} + \theta_0 e^{-\frac{\Sigma_1^n t}{a}},$$

où

$$\Sigma_h^n t = t_h + t_{h+1} + \ldots\ldots + t_n.$$

Le même excès de température serait obtenu avec une intensité constante moyenne i_m, agissant pendant le temps $\Sigma_1^n t = \Sigma t$ du voyage total, telle que

$$\theta_n = \frac{i_m^2}{b}\left(1 - 2^{-\frac{\Sigma t}{a}}\right) + \theta_0 e^{-\frac{\Sigma t}{a}}$$

En égalant les deux expressions de θ_n, on obtient la valeur de l'intensité moyenne équivalente au point de vue échauffement :

$$i_m^2 = \frac{1}{e^{\frac{\Sigma t}{a}} - 1}\left[i_n^2\left(e^{\frac{t_n}{a}} \quad\right) e^{\frac{\Sigma_1^{n-1} t}{a}}\right.$$
$$+ i^2_{n-1}\left(e^{\frac{n-1}{a}} - 1\right)\frac{\Sigma_1^{n-1} t}{e \quad a} + \ldots\ldots + i_2^2\left(e^{\frac{t_2}{a}} - 1\right) e^{\frac{t_1}{v}}$$
$$\left. + i_1^2\left(e^{\frac{t_1}{a}} - 1\right)\right]. \qquad (6)$$

Lorsque les temps t sont petits par rapport à a, on peut développer en série les exponentielles $e^{\frac{t}{a}}$, et prendre seulement les premières puissances, on est alors conduit à une valeur très simple de i_m :

$$i_m^2 = \frac{i_1^2 t_1 + \ldots\ldots + i_n^2 t_n}{\Sigma t}. \qquad (7)$$

Au point de vue physique, cette simplification revient à négliger le refroidissement pendant les arrêts, et à supposer que l'échauffement à intensité constante est proportionnel au temps : la formule simplifiée est largement suffisante pour les besoins de la pratique, tant que les intervalles t restent petits, comme dans les tramways urbains, étant donné surtout le peu de précision avec lequel sont connus les i et les t.

L'auteur a calculé des deux façons le i_m correspondant à l'exemple suivant :

Nos de l'intervalle.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
t en minutes.	20	$\frac{1}{4}$	10	2	$\frac{1}{4}$	25	10	25	$\frac{1}{4}$	2	10	$\frac{1}{4}$	20	1
i.	62	0	35	0	0	50	0	0	0	45	0	0	0	0

il a trouvé par la formule exacte :

$$i_m = 32{,}1 \text{ A};$$

il a trouvé par la formule approchée ;

$$i_m = 33{,}9 \text{ A};$$

concordance bien suffisante.

Cependant dans le cas de tramways suburbains à très longs trajets, il pourra être nécessaire d'employer la formule exacte.

L'intensité moyenne, ainsi calculée, doit être inférieure à l'intensité maximum que le moteur peut supporter indéfiniment, et qui est définie par la condition

$$i^2_0 = b\theta,$$

θ étant l'échauffement maximum admissible.

A. M.

SOCIÉTÉS SAVANTES ET TECHNIQUES

ACADÉMIE DES SCIENCES

Séance du 18 novembre 1901.

Sur une modification dans l'emploi du thermomètre électrique pour la détermination des températures souterraines au Muséum d'Histoire Naturelle, par **Henri Becquerel**, *Comptes rendus*, t. CXXXIII, p. 800 803.

Après avoir rappelé les travaux de son grand-père, A.-C. Becquerel, sur la détermination des températures au moyen des couples thermo-électriques [1], M. H. Becquerel indique la modification qu'il a apportée au procédé employé jusqu'ici pour déterminer les températures souterraines au Muséum.

Ce procédé consistait à intercaler un galvanomètre très sensible dans un circuit formé de fils de cuivre et de fils de fer et à modifier la température de l'une des soudures (A) jusqu'à ce que le galvanomètre revienne au zéro ; la température notée à ce moment est celle que possède la seconde soudure (B). Il offre cet inconvénient que chaque détermination demande un temps assez long.

La modification apportée par M. H. Becquerel repose sur la loi des températures successives : Dans un circuit hétérogène dont les soudures sont aux températures t_0 et t_1, le courant électrique est la différence de courant que l'on observerait si, l'une des soudures étant maintenue à 0°, l'autre était portée successivement aux températures t_1 et t_0.

Si donc on prend un galvanomètre dont les déviations sont proportionnelles aux intensités des courants — et cette condition est remplie avec une approximation très suffisante par un galvanomètre Deprez-d'Arsonval à miroir pour les faibles déviations utilisées — on pourra opérer de la manière suivante : On commencera par tracer sur l'échelle du galvanomètre des

[1] L'emploi des courants thermo-électriques pour la mesure des températures, dit M. H. Becquerel, a été proposé en 1826 par mon grand-père. (A.-C. Becquerel, *Ann. de Chim. et de Phys.*, 2e série, t. XXXI, p. 371 ; 1826.) Dans un circuit comprenant un galvanomètre, on intercalait deux fils différents, soit un fil de platine et un fil de palladium, soit deux fils de platine inégalement impurs ; l'une des jonctions des fils était maintenue à 0° dans la glace fondante, l'autre était portée à la température cherchée. La déviation du galvanomètre, gradué préalablement, donnait la température. Cette méthode a été depuis employée par divers observateurs pour la mesure des températures élevées.

» En 1835 (A.-C. Becquerel, *Ann. de Chim. et de Phys.*, 2e série, t. LIX, p. 117 ; 1835.) dans des recherches sur la chaleur animale faites en commun avec M. Breschet, la méthode fut modifiée pour obtenir plus de précision dans l'évaluation de très faibles différences de température. Dans le même circuit, on disposait deux aiguilles thermo-électriques, fer-cuivre, ou platine-cuivre, formant des couples opposés l'un à l'autre. L'une était maintenue à une température constante (0° ou 36° suivant les expériences), l'autre était portée successivement, d'abord au point à explorer, et donnait alors une déviation déterminée dans le galvanomètre, puis ensuite elle était plongée dans un bain dont on faisait varier la température de manière à obtenir la même déviation au galvanomètre. La température du bain donnait la température cherchée.

» Plus tard (A.-C. Becquerel, *Comptes rendus*, t. XLVI, p. 1183 ; 1858), mon grand-père opéra en faisant varier la température de la seconde soudure de façon à ramener le galvanomètre au zéro La température mesurée à ce moment devait être la même pour les deux soudures, et donnait ainsi la température du point à explorer. Tel est le principe de la méthode de compensation installée au Muséum depuis 1858 pour les observations météorologiques et la détermination des températures souterraines. La méthode est d'une exactitude rigoureuse et donne les températures à une petite fraction de degré, aux extrémités de câbles formés de fils de fer et de fils de cuivre.

repères indiquant les déviations pour les diverses températures, de degré en degré, de la soudure B, la seconde soudure A étant maintenue à 0° (1). Ensuite, pour faire une détermination, on déplacera l'échelle parallèlement à elle-même de manière que, le circuit du galvanomètre étant ouvert, l'image lumineuse vienne sur la division correspondant à la température t_0 de la soudure A à côté de laquelle est un thermomètre à mercure très sensible ; enfin, on fermera le circuit du galvanomètre et l'endroit où s'arrêtera l'image donnera immédiatement la température t_1 de l'autre soudure B.

Comme on le voit le procédé est très rapide ; il est en outre suffisamment précis, car la comparaison des résultats qu'il fournit avec ceux que donne le procédé de compensation employé jusqu'ici indique une parfaite concordance.

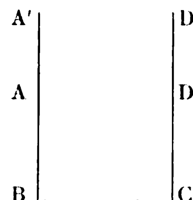
Un des inconvénients du procédé, inconvénient signalé du reste par tous les observateurs, est la variation de la résistance électrique du circuit aux diverses températures, et aussi celle qui, dans le cas particulier des observations du Muséum, résulte de l'introduction dans le circuit de câbles inégalement longs. On diminue considérablement l'influence de ces variations jusqu'à la rendre négligeable en faisant usage d'un galvanomètre de résistance suffisante, auquel on peut adjoindre des résistances additionnelles, et en formant le cadre du galvanomètre et les résistances avec des alliages dont la conductibilité varie peu avec la température. On peut alors tenir compte des faibles variations de la conductibilité en traçant sur l'échelle plusieurs graduations correspondant à des températures différentes du galvanomètre, et au milieu desquelles on peut interpoler une graduation applicable à la température ambiante au moment de chaque observation.

Séance du 25 novembre 1901.

Sur l'absence d'action d'un champ magnétique sur une masse d'air qui est le siège d'un courant de déplacement, par **R. Blondlot.** *Comptes rendus*, t. CXXXIII, p. 848-850.

L'auteur a montré récemment que, lorsque l'on fait mouvoir une masse d'air dans un champ magnétique normalement aux lignes de force, il n'en résulte dans cette masse d'air aucun déplacement électrique (1). Ce fait en entraîne un autre qui en est corrélatif, à savoir qu'une masse d'air qui est le siège d'un déplacement électrique ne subit aucune action de la part d'un champ magnétique. Voici comment M. Blondlot le démontre :

« Considérons, en effet, l'expérience suivante : un circuit rectangulaire ouvert ABCD est relié en A et D aux deux armatures AA′ et DD′ d'un condensateur à air, qui sont toutes deux normales au plan ABCD. Une boîte isolante très mince sert à rendre l'air du condensateur mécaniquement solidaire des armatures. Cet appareil étant placé dans un champ magnétique uniforme dont les lignes de force sont normales au plan ABCD, donnons à l'ensemble une translation parallèle à AB. Il y aura courant induit, car il naîtra une force électromotrice d'induction le long de BC qui coupe normalement les lignes de force ; il n'y en aura ni le long de AB ni le long de CD, qui ne les coupent pas, ni non plus dans l'air du condensateur, d'après le résultat d'expériences que j'ai rappelées en commençant. Maintenant il est clair que, en accélérant



convenablement le mouvement de translation, on pourra obtenir un courant constant; on aura alors simplement, pour son intensité,

$$i = \frac{-\frac{dN}{dt} - V}{R},$$

N désignant le nombre de lignes de force coupées par BC à partir d'un instant quelconque, R la résistance du fil et V la différence de poten-

(1) A la vérité, pour graduer le galvanomètre il n'est pas nécessaire de porter l'une des soudures à 0° ; il suffit de la maintenir à une température constante quelconque et de connaître exactement cette température. Si la graduation préalable était poussée au delà de la température neutre, la méthode donnerait encore la température de la soudure B au delà de cette température, malgré l'inversion du courant.

(1) *L'Écl. Élect.*, t. XXIX, p. 414, 14 déc. 1901.

tiel des armatures du condensateur. On tire de là, en multipliant par $i\,dt$,

$$-\,i\,d\mathrm{N} = i^2\mathrm{R}\,dt + \mathrm{V}i\,dt.$$

» Maintenant, $\mathrm{V}i\,dt$ est le gain d'énergie du condensateur [1] et l'égalité précédente signifie que l'effet Joule, augmenté de l'accroissement de l'énergie du condensateur, forme l'équivalent du travail accompli par l'agent qui, lors de la translation, a surmonté les forces électromagnétiques agissant sur BC; d'après le principe de la conservation de l'énergie, il ne peut exister d'autre travail extérieur et, par conséquent, il n'y a aucune action électromagnétique du champ sur le courant de déplacement qui a pour siège l'air du condensateur.

» Si l'on applique à cette proposition le principe de l'égalité de l'action et de la réaction, on en conclut qu'un courant de déplacement dans l'air n'exerce aucune action magnétique et que, par conséquent, le courant de charge d'un condensateur est un courant ouvert au point de vue magnétique. C'est la négation même de l'un des principes sur lesquels repose la théorie de Maxwell; si donc on veut maintenir cette théorie, il faut renoncer au principe de la réaction.

» M. H. Poincaré a déjà signalé cette incompatibilité entre le principe de la réaction et plusieurs des théories de l'Electrodynamique. Pas plus que lui, je ne vois dans ce fait une raison de renoncer d'avance à ces théories dont la fécondité est attestée par les découvertes capitales auxquelles elles ont donné naissance. »

Détermination de quelques coefficients de self-induction, par **G.-A. Hemsalech**. *Comptes rendus*, t. CXXXIII, p. 863.

Dans ses expériences sur les spectres des étincelles électriques, faites au laboratoire des Recherches physiques à la Sorbonne, l'auteur s'est servi de deux bobines à self-induction variable [2]. Les valeurs des coefficients de self-induction de ces bobines déterminées par le calcul étant trop grandes, l'auteur les a déterminées expérimentalement. Les mesures ont été exécutées au laboratoire de M. J.-A. Fleming, à University College, suivant la méthode d'Anderson, perfectionnée par M. Fleming.

En remplaçant les valeurs calculées par celles données par l'expérience et qui sont notablement plus petites, on trouve comme grandeur des self-inductions [1] qu'il est utile d'employer pour observer les spectres de certains métaux :

0,00286 henry. .	Cobalt, zinc, magnésium, aluminium.
0,00689 » . .	Manganèse, argent.
0,0254 » . .	Antimoine.
0,0419 » . .	Fer, nickel, cadmium, étain, plomb, bismuth, cuivre.

Les raies de l'air sont complètement éléminées avec 0,00286 henry.

Sur la distribution régulière de la déclinaison et de l'inclinaison magnétiques en France au 1er janvier 1896, par **E. Mathias**. *Comptes rendus*, t. CXXXIII, p. 864-867.

L'auteur a montré antérieurement [2] que la formule linéaire qui donne, en fonction de la longitude et de la latitude géographiques, la loi de distribution régulière de la composante horizontale dans la région de Toulouse s'applique à toute la France et permet de retrouver, avec des différences inférieures aux erreurs d'observation, la plupart des nombres que M. Moureaux a donnés dans son Réseau magnétique de la France au 1er janvier 1896 [3]. M. Mathias a étendu son travail à la déclinaison et à l'inclinaison.

Pour ces grandeurs, les formules linéaires de la région toulousaine [4] ont dû être remplacées par des formules du second degré à cinq ou six termes; par contre, les formules ainsi obtenues sont valables pour la Corse aussi bien que pour la France continentale.

Déclinaison. — Il a pu représenter la diffé-

[1] En effet, $i\,dt$ est l'accroissement de la charge du condensateur; si l'on appelle C sa capacité, on a

$$i\,dt = \mathrm{C}\,d\mathrm{V}; \quad \text{d'où} \quad \mathrm{V}i\,dt = \mathrm{CV}\,d\mathrm{V} + d\left(\frac{\mathrm{CV}^2}{2}\right).$$

[2] G.-A. Hemsalech, *Recherches expérimentales sur les spectres d'étincelles*, p. 28; Paris, 1901. — Voir aussi *L'Écl. Élect.*, t. XXVIII, 211, 10 août 1901.

[1] La capacité du condensateur était de 0,008 microfarad environ.

[2] *Écl. Élect.*, t. XXV, p. 96, 13 oct. 1900.

[3] Th. Moureaux, *Annales du Bureau central météorologique*, année 1898, t. I.

[4] E. Mathias, *Études sur le Magnétisme terrestre de la région toulousaine* (*Congrès international de Météorologie de* 1900, p. 226).

rence ΔD [1] existant entre la déclinaison d'un endroit X, au 1er janvier 1896, donnée par M. Moureaux, et celle de l'Observatoire de Toulouse à la même époque par la formule :

$$\left.\begin{array}{l}\Delta D = 0{,}42\,(\Delta\,\text{long.}) + 0{,}17\,(\Delta\text{lat.}) + 0{,}000090(\Delta\text{long.})^2 \\ \quad + 0{,}000086\,(\Delta\,\text{long.})\,(\Delta\,\text{lat.}) - 0{,}000062\,(\Delta\,\text{lat.})^2.\end{array}\right\} \quad (1)$$

Tandis que (1) donne les ΔD (calc.), les ΔD (obs.) sont donnés par

$$\Delta D\ (\text{obs.}) = D_{x,96} - 14°40'. \qquad (2)$$

$D_{x,96}$ étant la déclinaison de la station X au 1er janvier 1896 donnée par M. Moureaux et 14°40′ la déclinaison de l'observatoire de Toulouse à la même époque et d'après le même auteur. Si la différence entre les ΔD observés et calculés ne dépasse pas, en valeur absolue, 3′ environ, la station correspondante est considérée comme *régulière* ; elle est *anomale* si la différence atteint ou dépasse 4′.

On trouve ainsi 11 départements entièrement réguliers et 17 départements ne présentant chacun qu'une seule anomalie sur une moyenne de 5 à 6 stations par département. Tous les autres départements présentent une proportion variable de stations régulières et de stations anomales.

Si aux stations visitées par M. Moureaux on joint celles de la région toulousaine, on trouve plus de 300 stations régulières situées dans toutes les régions de la France, y compris la Corse. Bien que la déclinaison soit très fortement affectée par les causes locales, même dans les régions où les couches superficielles du sol ne sont pas magnétiques, on ne peut nier que cet élément n'obéisse à une loi de distribution régulière comme la composante horizontale.

Inclinaison. — Des tâtonnements réguliers ont permis de passer de la formule linéaire [2],

$$\Delta I = 0{,}129\,(\Delta\,\text{long.}) + 0{,}936\,(\Delta\,\text{lat.})$$

valable dans la région toulousaine, à la formule plus exacte

$$\left.\begin{array}{l}\Delta I = 0{,}13(\Delta\,\text{long.}) + 0{,}88\,(\Delta\,\text{lat.}) - 0{,}000025\,(\Delta\,\text{long.})^2 \\ \quad - 0{,}000050\,(\Delta\,\text{long.})\,(\Delta\,\text{lat.}) - 0{,}000200\,(\Delta\,\text{lat.})^2\end{array}\right\} \quad (3)$$

applicable à toute la France. Les ΔI (obs.) sont alors donnés par

$$\Delta I\ (\text{obs.}) = I_{x,96} - 61°4', \qquad (4)$$

formule dont la signification est analogue à celle de (2). La formule (3) a permis de choisir, dans les 617 localités visitées par M. Moureaux et la centaine de stations toulousaines visitées par moi, 462 localités telles que la différence ΔI (obs.) — ΔI (calc.) soit, en valeur absolue, inférieure à 4′. On a pu alors écrire 462 équations à *six* inconnues de la forme

$$\left.\begin{array}{l}\Delta I\ (\text{obs.}) = x + y(\Delta\,\text{long.}) + z(\Delta\,\text{lat.}) + t(\Delta\,\text{long.})^2 \\ \quad + u(\Delta\,\text{long.})\,(\Delta\,\text{lat.}) + v\,(\Delta\,\text{lrt.})^2.\end{array}\right\} \quad (5)$$

Si l'on pose

$$y = 0{,}13 + y'.\quad z = 0{,}88 + z',\quad t = -0{,}000025 + t',$$
$$u = -0{,}000050 + u'\quad v = -0{,}0002 + v'.$$

et si l'on retranche membre à membre (3) de (5), il vient

$$\left.\begin{array}{l}\Delta I\ (\text{obs.}) - \Delta I\ (\text{calc.}) = x + y'(\Delta\,\text{long.}) + z'(\Delta\,\text{lat.}) \\ \quad + t'(\Delta\,\text{long.})^2 \\ \quad + u'(\Delta\,\text{long.})\,(\Delta\,\text{lat.}) + v'(\Delta\,\text{lat.})^2\end{array}\right\} \quad (6)$$

Les 462 équations à six inconnues du type (6) ont été résolues au moyen de la méthode des moindres carrés par le service des calculateurs de l'observatoire de Toulouse, sous la direction de M. B. Baillaud. Les 462 équations (6) ont fourni la solution suivante

$$x' = -1',2 \qquad y' = -0{,}00627 \qquad z' = +0{,}01410,$$
$$t' = -0{,}0000071,\quad u' = -0{,}0000031,\quad v' = -0{,}0000271,$$

d'où l'on déduit pour la loi de distribution régulière de l'inclinaison

$$\left.\begin{array}{l}\Delta I = -1',2 + 0{,}12373\,(\Delta\,\text{long.}) + 0{,}89410\,(\Delta\,\text{lat.}) \\ \quad - 0{,}000032\,(\Delta\,\text{long.})^2 - 0{,}0000531 \\ \quad\quad (\Delta\,\text{long.})\,(\Delta\,\text{lat.}) \\ \quad - 0{,}000227\,(\Delta\text{lat.})^2,\end{array}\right\} \quad (7)$$

ce qui justifie au delà de toute espérance la formule provisoire (3).

La signification théorique du terme constant de (7) est simple : *c'est, changée de signe, l'anomalie de la station de référence relative à l'inclinaison.*

Comme on ne peut répondre de la minute dans les mesures d'inclinaison, dans le cas présent, cela veut simplement dire que l'anomalie de

[1] Les notations sont les mêmes que dans les Notes précédentes, et les différences ΔD, ΔI, (Δ long.), (Δ lat.) sont toujours exprimées en minutes d'angle.

[2] E. Mathias, *Congrès de Météorologie de* 1900, p. 231.

Toulouse est négligeable pour l'inclinaison comme pour les autres éléments et que l'inclinaison 61°4′, relative au 1er janvier 1896, est trop forte de 1′,2.

Sur la préparation électrolytique des composés halogénés des acétones, par **A. Richard**. *Comptes rendus*, t. CXXXIII, p. 878-880.

Si l'on fait passer un courant électrique à travers un mélange d'acide chlorhydrique et d'acétone, on obtient, au bout d'un temps plus ou moins long, un liquide lourd, agissant très vivement sur les yeux. Ce liquide est la monochloracétone ($CH^3 — CO — CH^2 Cl$).

Une réaction analogue se produit si le courant électrique traverse un mélange d'acide bromhydrique et d'acétone. Dans ce cas, c'est la monobromacétone ($CH^3 — CO — CH^2 Br$) qui prend naissance.

L'auteur a fait l'étude complète de ces deux réactions, déjà signalées par quelques chimistes; la Note qu'il présente à l'Académie résume quelques-uns des résultats déjà obtenus ([1]).

([1]) « I. *Monochloracétone*. — Pour arriver à préparer la monochloracétone avec le meilleur rendement possible, j'ai été amené à considérer successivement les diverses particularités de l'expérience, savoir : intensité du courant, densité du courant aux électrodes, température, composition de l'électrolyte, action de l'hydrogène naissant sur les produits de la réaction.

» J'ai observé les faits suivants :

» 1° Le rendement, calculé par rapport au chlore mis en liberté par le courant, croît avec l'intensité de ce courant, tant que l'on opère en présence d'un excès d'acétone; mais si l'acétone est en trop faible quantité, il y a d'assez grandes pertes de chlore. J'ai obtenu de bons résultats avec trois volumes d'acétone pour deux volumes d'acide chlorhydrique.

» 2° Si la densité du courant diminue à l'anode, le rendement augmente; on a, par suite, intérêt à prendre une anode à grande surface.

» 3° Le rendement et aussi la pureté du corps obtenu sont profondément modifiés par une trop grande élévation de température. Aussi est-il avantageux de refroidir constamment le vase électrolytique par un courant d'eau froide.

» 4° Enfin, l'hydrogène naissant qui se dégage sur la cathode est à peu près sans action sur le rendement. Je l'ai constaté directement, en faisant deux électrolyses simultanées et telles que, dans l'une, les deux électrodes plongeaient dans le même vase et, dans l'autre, les deux électrodes étaient séparées par un vase poreux.

» Dans les deux cas les rendements étaient à peine différents. Une autre confirmation de cette faible action de l'hydrogène m'a été fournie par l'emploi de la méthode d'Œttel (*Zeitschrift für Elektrotechnik und Elektrochemie*, p. 354; 1894). Il suffit de recueillir le gaz hydrogène qui se dégage du vase électrolytique et de comparer son volume à celui du mélange tonnant fourni par un voltamètre intercalé dans le circuit. J'ai recueilli presque tout l'hydrogène que la théorie me faisait prévoir.

» II. *Monobromacétone*. — Une étude, en tous points semblable à la précédente, a été faite au sujet de la monobromacétone. Les résultats obtenus sont, dans leurs grandes lignes, identiques aux précédents. Aussi je ne ferai ici que signaler les différences.

» On n'a pas, dans le cas de la monobromacétone, à refroidir le vase électrolytique; il est préférable d'opérer à une température variant entre 35° et 40° C. Une température plus élevée occasionne, en particulier, de grandes pertes en acétone.

» En outre, l'hydrogène *doit* ici se dégager à part, en dehors du récipient où se forme la monobromacétone. Sinon la méthode d'Œttel révèle des différences considérables entre l'hydrogène recueilli et l'hydrogène théorique. L'hydrogène manquant a partiellement réduit la monobromacétone formée et a, par suite, considérablement abaissé le rendement.

» *Remarque*. — L'étude calorimétrique de ces corps, que je poursuis en ce moment, fera l'objet d'une prochaine Communication. »

Séance du 2 décembre 1901

Méthode permettant d'évaluer en valeur absolue les très basses températures, par **Henri Pellat**. *Comptes rendus*, t. CXXXIII, p. 921-924.

L'emploi fréquent aujourd'hui de très basses températures fait désirer qu'on puisse les évaluer sur l'échelle thermodynamique. Or, le thermomètre à gaz ne peut plus servir pour cela dès que le gaz, par suite de son refroidissement, cesse d'être assimilable à un gaz parfait. D'autre part, la méthode générale indiquée par M. Lippmann ([1]), fondée sur l'étude des propriétés thermiques et mécaniques d'un corps, n'est pas d'un emploi pratique aux basses températures. M. Pellat montre que le phénomène Peltier permet de résoudre le problème.

Si l'on désigne par E la force électromotrice, évaluée en unités C. G. S., d'un couple thermo-électrique dont une des soudures est maintenue à une température fixe (glace fondante, par exemple) et l'autre portée à la température absolue T qu'on se propose d'évaluer, et si Π est le coefficient de l'effet Peltier, évalué en prenant l'erg pour unité de chaleur, la Thermodynamique fournit la relation suivante, établie pour la première fois par lord Kelvin et vérifiée par les

([1]) *Journ. de Phys.*, 2e série, t. III, p. 277; 1884.

expériences de M. Edlund [1] et de M. Bellati [2]:

$$\Pi = T \frac{dE}{dT}, \quad (1)$$

qu'on peut écrire sous la forme :

$$\frac{dT}{T} = \frac{dE}{\Pi}. \quad (2)$$

Supposons qu'on ait évalué en fonction des indications t d'un thermomètre quelconque la force électromotrice E et le coefficient Π de l'effet Peltier, de façon à pouvoir écrire :

$$E = f(t) \quad \text{et} \quad \Pi = F(t), \quad (3)$$

$f(t)$ et $F(t)$ étant deux fonctions empiriquement connues ; en posant :

$$\frac{f'(t)}{F(t)} = \varphi'(t) \quad \text{on aura} \quad \frac{dT}{T} = \varphi'(t)\,dt \quad (4)$$

et, en intégrant entre les températures T_0 ou t_0 et T ou t, il vient :

$$L\,\frac{T}{T_0} = \varphi(t) - \varphi(t_0) \quad (5)$$

ce qui fait connaître T, puisque la fonction $\varphi(t)$ est connue [3].

[1] Stockholm, 1871.

[2] *Atti del R. Istituto Veneto*, 5e série, t. V ; 1879.

[3] Pour mettre en pratique cette méthode, il convient de prendre comme couple thermo-électrique A, auquel s'appliquent les relations ci-dessus, un couple fer-zinc, à cause de son grand pouvoir thermo-électrique aux basses températures. La partie qui doit être portée à la température T sera constituée par un barreau cylindrique mixte d'un centimètre de diamètre environ et d'une longueur de 20 à 30 cm, la soudure étant placée en son milieu. Tout près de celle-ci sera pratiquée dans le fer une rainure profonde, ne laissant au centre qu'une épaisseur de 2 mm environ, et très étroite (1 à 2 dixièmes de millimètre) pour loger les spires isolées d'un fil métallique très fin, dont les extrémités aboutissent à deux gros fils de même métal sortant de l'appareil. De part et d'autre de l'ensemble de la soudure et de la spirale, très près et symétriquement, seront placés deux petits trous a et a' ; deux autres trous semblables b et b' seront creusés vers le milieu de chacune des barres fer et zinc. Ces trous serviront à loger les quatre soudures d'une pile thermo-électrique très sensible, les soudures paires étant dans les trous a et a', les soudures impaires dans les trous b et b' ; nous appellerons B ce thermomètre. Le tout sera contenu dans un tube de verre de 3 cm ou 4 cm de diamètre parfaitement clos, de façon qu'on puisse faire, une fois pour toutes, un vide aussi parfait que possible à son intérieur. Les extrémités du tube donneront passage à deux fils de 3 mm à 4 mm de diamètre respectivement, en zinc et en fer, destinés aux communications extérieures, n'ayant que quelques millimètres de long à l'intérieur du tube ; elles livreront passage aussi aux fils fins du thermomètre B.

» Cet appareil doit être placé dans l'enceinte dont on veut évaluer la température ainsi que le thermomètre C, dont nous avons appelé t les indications. Le mieux me paraît de constituer celui-ci par un couple thermo-électrique, dont une des soudures pourrait être placée dans un autre trou pratiqué dans la barre mixte fer-zinc.

» Ayant disposé l'appareil dans le bain à température voulue, et les indications des thermomètres B et C étant invariables, on fera passer un courant intense (20 ampères par exemple) dans la barre ; à cause de sa grande section, l'effet Joule sera faible et, vu la disposition du thermomètre B, ses indications seront pratiquement indépendantes de cet effet, surtout si l'on donne aux deux barres des sections proportionnelles à leur résistivité ; au contraire, le thermomètre B indiquera l'effet Peltier. On fera passer ce courant d'intensité mesurée I dans le sens où il y a destruction de chaleur à la soudure, et l'on compensera celle-ci par la création de chaleur que produira un courant d'intensité i, variable à volonté, circulant dans la spirale, ce qu'on reconnaîtra à l'invariabilité des indications de B [1]. La mesure de i et de la différence de potentiel e aux extrémités de la spirale donnera la quantité de chaleur ei créée ainsi ; on aura donc $\Pi I = ei$, ce qui fera connaître Π. On déterminera cette grandeur pour différentes températures indiquées par C, et l'on obtiendra ainsi $F(t)$.

» D'autre part, il est très facile de mesurer pour chaque température t donnée par C la valeur de la force électromotrice du couple fer-zinc, dont la soudure en dehors du tube de verre sera maintenue à la température de la glace fondante ; on obtiendra ainsi $f(t)$.

» La précision me paraît pouvoir être suffisante pour donner de bonnes mesures, en se servant pour le thermomètre B d'un galvanomètre Broca. Le calcul indique que l'erreur maximum sera de 0°,5 vers la température absolue de 150° ; elle pourra atteindre 1° et 1°,5 pour les températures absolues de 75° et 20°.

» Il est probable que les mesures seront facilitées par la simplicité des fonctions $f(t)$ et $F(t)$, qui seront vrai-

[1] Pour mieux assurer cette compensation, il sera bon de creuser légèrement en son centre la face du zinc appliquée contre la face du fer à la soudure, de façon que le contact ait lieu par une couronne juste en face de la spirale et de même largeur qu'elle. La création et la destruction de chaleur se feront ainsi, d'une façon uniforme, presque dans la même section, et le thermomètre B ne donnera une indication invariable que si elles sont égales.

Sur l'application des équations de Lagrange aux phénomènes électrodynamiques, par E. Carvallo. *Comptes rendus*, t. CXXXIII, p. 924-927.

Pour déterminer le mouvement d'un système de circuits mobiles et les courants qui y circulent, Maxwell traite le système comme un sys-

tème à liaisons et lui applique les équations de Lagrange [1]. L'expression adoptée pour l'énergie cinétique se compose de deux parties, la *force vive* proprement dite de la matière pondérable, puis la fonction des forces électrodynamiques qui constitue l'*énergie électrocinétique*. En conséquence, les forces électrodynamiques et les forces électromotrices d'induction seraient, non pas des *forces appliquées*, mais des *forces d'inertie*, et elles en ont en effet le caractère [2]. M. Sarrau a constaté le fait dans une première Note et cherché à y porter remède par une deuxième Note [3].

Or, si l'on applique les équations de Lagrange à la roue de Barlow, elles donnent un résultat contraire à l'expérience. M. Carvallo le démontre, puis donne une explication de ce fait.

Les équations de Lagrange mises en défaut par la roue de Barlow. — Dans la roue de Barlow C, un courant $y'_1 = \frac{dy_1}{dt}$ circule suivant la verticale BC, que la roue soit fixe ou qu'elle tourne avec une vitesse angulaire $x' = \frac{dx}{dt}$; BC est un côté du circuit rectangulaire ABCD dont

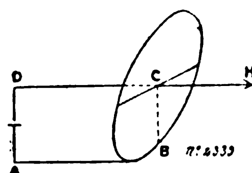


Fig. 1.

le plan est perpendiculaire à celui de la roue C. Voilà pour le premier courant. Un deuxième courant $y'_2 = \frac{dy_2}{dt}$ parcourt un solénoïde et forme un champ magnétique H de direction DC. Le flux magnétique qui, de ce fait, traverse ABCD est nul ; le potentiel mutuel des deux courants est donc nul et l'énergie cinétique du système se réduit à [1]

$$T = \frac{1}{2}(Ix'^2 + L_1 y'^2_1 + L_2 y'^2_2).$$

Aux trois paramètres de mobilité du système x, y_1, y_2 correspondent les trois équations de Lagrange :

$$\left.\begin{array}{ll}(1) & X = Ix'', \\ (2) & Y_1 = L_1 y''_1, \\ (3) & Y_2 = L_2 y''_2,\end{array}\right\} \qquad (I)$$

Elles renferment deux résultats contraires à l'expérience :

1° Aucune force électrodynamique ne tend à faire tourner la roue [éq. (1)] ;

2° Le mouvement de la roue ne provoque aucune force électromotrice [éq. (2)].

Pour représenter l'expérience, il faut ajouter l'expression connue de ces forces, ce qui transforme le système (I) déduit des équations de Lagrange en un autre incompatible avec lui, savoir :

$$\left.\begin{array}{ll}(1) & X = -Ky'_1y'_2 + Ix'', \\ (2) & Y_1 = +Ky'_2x' + L_1y''_1, \\ (3) & Y_2 = \qquad\qquad + L_2y''_2,\end{array}\right\} \qquad (II)$$

La théorie de Maxwell doit-elle donc être abandonnée ? Dans sa forme qui consiste à appliquer toujours les équations de Lagrange, nécessairement oui ; mais dans le fond, je ne le pense pas, parce que les équations de Lagrange ne sont pas toujours applicables aux systèmes à liaisons ; j'ai montré, au sujet du cerceau, qu'elles sont en défaut quand les paramètres de mobilité ne sont pas de véritables coordonnées [2]. Examinons les choses à ce point de vue.

2. *Adaptations de la théorie de Maxwell à la roue de Barlow.* — L'état du système est-il bien connu quand on donne les trois paramètres x, y_1, y_2 ? Oui, s'il s'agit des conducteurs filiformes où le courant traverse toujours les mêmes particules matérielles, mais non dans le cas de

semblablement bien représentées par des fonctions paraboliques d'un petit nombre de termes.

» Il va sans dire qu'après avoir rapporté ainsi les indications du thermomètre C à celles de l'échelle absolue des températures, c'est ce thermomètre C qui sera employé dans les mesures courantes, par exemple, pour prendre les points d'ébullition de l'azote, de l'hydrogène, etc. »

(1) MAXWELL, *Traité d'Électricité*, t. II, p. 228 (édition française).

(2) E. CARVALLO, Théorie du monocycle et de la bicyclette, *Journal de l'École Polytechnique*, 2e série, VIe et VIIe cahiers.

(3) *Écl. Élect.*, t. XXIX, p. 68 et 70, 12 oct. 1901.

(1) *Notations :* I, moment d'inertie de la roue ; L_1, L_2, coefficients de self-induction ; X, moment résultant des forces appliquées par rapport à l'axe de la roue ; Y_1, Y_2, forces électromotrices appliquées aux deux circuits (Niles et Joule).

(2) E. CARVALLO, *loc. cit.*

la roue de Barlow, où le courant se déplace dans la roue.

Faites passer la quantité d'électricité y_1, puis tournez la roue de x, la chaleur de Joule se dégage sur le premier rayon vertical ; au contraire, tournez la roue de x avant de faire passer le courant : la chaleur se dégage sur un autre rayon faisant avec le premier l'angle x. Pour faire connaître l'état du système à l'époque t, il ne suffit pas de donner x, y_1, y_2, il faut encore donner la loi des valeurs simultanées des deux paramètres x et y_1. De même, pour faire connaître la position du cerceau, il faut donner non seulement les angles de marche, de conversion et de chute, mais aussi la loi des valeurs simultanées des deux premiers angles à partir de l'origine. L'analogie est manifeste et il y a lieu d'appliquer à la roue de Barlow mes remarques sur le cerceau :

La troisième équation de Lagrange subsiste, mais il faut compléter les deux premières par certains termes aux produits des vitesses.

C'est précisément la particularité qu'offre le système (II) déduit de l'expérience.

Malheureusement, tandis que dans le cerceau la théorie permet de calculer les termes complémentaires qui modifient les équations de Lagrange, il faut ici les emprunter aux lois expérimentales de l'Électrodynamique et de l'induction, à cause de notre ignorance sur la constitution élémentaire du système mécanique qui nous occupe : nous connaissons seulement ses paramètres de mobilité, son énergie cinétique et les forces appliquées. Cela suffit quand les équations de Lagrange sont applicables, mais non dans le cas contraire.

4. *Conclusions.* — 1° L'expérience de la roue de Barlow montre que les équations de Lagrange ne sont pas toujours applicables aux phénomènes électrodynamiques, notamment dans le cas des conducteurs à deux ou trois dimensions.

2° Elle offre une grande analogie avec le roulement du cerceau.

3° Elle semble confirmer les deux principes, fondamentaux, et d'ailleurs corrélatifs, de Maxwell : *L'énergie d'un système de courants est une énergie cinétique ; les forces électrodynamiques et les forces électromotrices d'induction sont des forces d'inertie.* Ce sont aussi les deux principes sur lesquels insiste M. Sarrau. Tout s'harmonise avec cette hypothèse, tout s'oppose à l'hypothèse contraire.

Sur la décharge disruptive dans les électrolytes, par **H. Bagard**. *Comptes rendus*, t. CXXXIII, p. 927-929.

Dans une Note présentée à l'Académie (15 avril dernier), MM. Broca et Turchini [1] ont décrit des expériences qui leur ont permis d'observer des décharges disruptives au sein d'électrolytes très conducteurs.

M. Bagard fait connaître un procédé général très simple qui donne infailliblement des étincelles dans les électrolytes, sans avoir recours aux moyens puissants dont disposaient ces physiciens [2].

---

(1) *Écl. Élect.*, t. XXVII, p. 191, 4 mai 1901.

(2) M. Bayard décrit ainsi ce procédé :

« Il importe, en premier lieu, de réduire autant que possible les deux surfaces des conducteurs métalliques entre lesquelles on cherche à faire passer la décharge sous forme d'étincelle dans le liquide. A cet effet, je forme l'excitateur de deux fils métalliques de 1 mm de diamètre, disposés horizontalement dans le prolongement l'un de l'autre, et que j'isole du liquide par une gaine épaisse d'un diélectrique solide tel que l'ébonite, jusqu'au voisinage immédiat des extrémités libres en regard ; il n'est pas nécessaire de sceller les fils dans leurs enveloppes, et l'on peut, sans inconvénient, les laisser dépasser sur une longueur de quelques dixièmes de millimètre.

» En second lieu, il faut employer un des modes connus de la décharge dynamique. Je me sers, par exemple, de deux bouteilles de Leyde isolées, dont je relie les armatures internes respectivement aux deux pôles d'une machine électrique et aux deux branches d'un excitateur à boules ordinaires A, qui fonctionne dans l'air. Les armatures externes sont reliées directement aux branches de l'excitateur à liquide B. Ce dernier maintient, grâce à la conduction du liquide, l'égalité des potentiels de ces deux armatures, lors de leur charge qui est relativement lente. Mais, si l'excitateur A est réglé pour un potentiel explosif suffisant, lorsqu'une décharge des armatures internes se produit, la décharge brusque qui tend à se produire entre les armatures externes ne peut pas se faire par simple conduction électrolytique et une étincelle éclate à travers le diélectrique.

» Au contraire, avec un excitateur présentant des surfaces métalliques plus grandes, non isolées du liquide, la décharge se produirait ici exclusivement par conduction, grâce à la grande section offerte par le liquide au flux électrique ; d'autre part, même avec l'excitateur que j'ai décrit, une décharge non dynamique se ferait également par conduction électrolytique.

» On voit que l'excitateur à liquide peut être placé dans un circuit indépendant. En modifiant la distance explosive en A, on obtient à volonté des étincelles grêles ou des étidcelles nourries, très lumineuses et bruyantes dans le liquide. La distance explosive peut être portée à 3 mm et plus, dans les solutions les plus conductrices de sulfate de cuivre,

Sur l'étincelle de l'excitateur de Hertz, par **C. Tissot**. *Comptes rendus*, t. CXXXIII, p. 929-931.

Au cours des recherches effectuées par M. Tissot à l'effet de faire l'application des différentes formes de l'oscillateur hertzien à la télégraphie sans fil, il a été conduit à utiliser le dispositif de M. Blondlot.

L'emploi de ce dispositif a fourni d'excellents résultats. Il permet d'obtenir des communications aussi aisées et d'atteindre des portées comparables à celles que fournissent les autres. Il présente, entre autres avantages, celui de donner des périodes bien déterminées et faciles à faire varier à volonté.

M. Tissot applique à la détermination de ces périodes le procédé du miroir tournant et le dispositif expérimental qu'il a décrit précédemment [1]. L'emploi de la lentille cylindrique donne une grande finesse aux épreuves et permet d'effectuer avec précision la mesure des intervalles successifs.

L'examen micrométrique des épreuves montre que les images des étincelles successives ne sont pas rigoureusement équidistantes. Le premier intervalle est toujours nettement plus considérable que les autres. Les suivants vont en décroissant très légèrement, mais ne présentent entre eux que des différences très faibles. On ne saurait, toutefois, attribuer ces différences à l'imperfection des pointés ou à des erreurs accidentelles, car la même tendance se manifeste sur toutes les épreuves.

Le premier intervalle paraît dépendre nettement de la distance explosive et augmente avec elle. Les distances des maximas suivants tendent rapidement vers une limite qui en est indépendante et caractéristique de la période du système [1]

Toutes les épreuves qui ont été obtenues (au nombre de 150 environ) présentent les mêmes caractères. En prenant soin d'éliminer le premier intervalle pour faire le calcul des périodes, on obtient des nombres absolument concordants.

L'effet observé croît avec la distance explosive et paraît d'autant plus marqué que la capacité du système est plus faible. C'est ce qui explique qu'en opérant avec des capacités notables et de petites distances explosives on trouve des intervalles très sensiblement équidistants. Tel était le cas de nos premières expériences.

Le soufflage de l'étincelle, qui produit par ailleurs des effets particuliers, exagère le phénomène. Le résultat obtenu s'accorderait avec la théorie qui a été présentée par M. Swynge-

---

d'acide sulfurique, etc. L'étincelle a une coloration qui dépend de la substance dissoute ; par exemple, avec une solution d'acide sulfurique, on reconnaît la teinte qui caractérise une décharge à travers l'hydrogène.

» On peut disposer deux excitateurs, l'un à air, l'autre à liquide, en dérivation sur le circuit de décharge et régler les distances explosives de façon à obtenir la décharge par les deux appareils à la fois, ou par l'un d'eux seulement. On peut aussi mettre en dérivation deux excitateurs à liquide et j'ai employé ce dernier dispositif pour rechercher si la lumière, les radiations ultra-violettes et les rayons de Rœntgen ont une influence sur le potentiel explosif dans l'eau distillée, d'abord, puis dans quelques solutions. Ces essais ne m'ont fourni aucune indication nette relativement à une influence de cette nature. Il est, du reste, très difficile de maintenir ces excitateurs à liquide dans des états déterminés ; outre l'échauffement du liquide produit par une première décharge, d'autres troubles sont apportés par les petites bulles de gaz qui se dégagent, par les poussières qui peuvent flotter dans le liquide, par l'altération des extrémités des fils.

» Enfin, si l'on substitue à l'action de la machine électrique celle d'une bobine d'induction, on obtient, naturellement, au lieu d'étincelles isolées dans le liquide, une série d'étincelles très rapprochées dont la fréquence peut être réglée à volonté ».

[1] *Écl. Élect.*, t. XXVII, p. 38, 6 avril 1901.

[1] Voici, à titre d'exemples, les mesures suivantes relevées sur les épreuves A_1, A_2, B_1, B_2 obtenues avec un excitateur composé de deux boules de 3 cm de diamètre :

		A_1.	A_2.	B_1.	B_2.
Nombre de tours du miroir. . .		430	405	435	410
Capacité en unités électrostatiques		480	480	900	900
Distance explosive en centimètres		1	1,6	0,8	1,5
Grandeur des intervalles en centièmes de millimètre.	1er	59,3	59,0	67,5	65,5
	2e	55,5	53,2	65,4	62,5
	3e	54,4	51,4	64,8	61,6
	4e	54,0	50,7	64,2	60,8
	5e	53,8	50,4	63,6	60,5
	6e	53,6	49,8	»	59,8
Intervalle moyen (le premier excepté)		54,3	51,08	64,3	61,0
Rapport du premier intervalle à la moyenne.		1,08	1,16	1,05	1,11
Période T en fraction de seconde		$0^s,57.10^{-6}$	$0,56.10^{-6}$	$0,68.10^{-6}$	$0,68.10^{-6}$

dauw [1]. On doit remarquer, toutefois, que les périodes réalisées ne sont pas absolument de l'ordre de grandeur de celles de l'excitateur hertzien proprement dit. Il s'interprète aisément par la variation de résistance de l'étincelle. La résistance subirait une variation notable de la première étincelle à la seconde, puis prendrait une valeur sensiblement constante.

M. Hemsalech a montré, en effet, qu'il existe une différence capitale entre la première étincelle d'une décharge oscillante et les suivantes. Dans la première apparaissent uniquement les raies de l'air, tandis que les raies du métal apparaissent dans les autres.

Sur la radio-activité induite provoquée par des sels de radium, par **P. Curie** et **A. Debierne**. *Comptes rendus*, t. CXXXIII, p. 931-934.

Les auteurs ont montré antérieurement [2] que tous les corps deviennent radio-actifs lorsqu'ils sont enfermés en vase clos avec un sel solide de baryum radifère. Cette radio-activité, dite *induite*, s'obtient encore en remplaçant le sel de radium solide par sa solution aqueuse. La solution aqueuse est d'ailleurs préférable parce que les effets obtenus sont à la fois plus réguliers et beaucoup plus intenses (quarante fois plus, par exemple).

De nouvelles expériences sur le sujet ont fourni à MM. Curie et Debierne plusieurs résultats intéressants dont voici quelques-uns :

Les divers corps solides (cuivre, platine, plomb, étain, aluminium, verre, papier, cire, sulfure de zinc, etc.) acquièrent la même activité induite lorsqu'ils sont placés dans les mêmes conditions dans une même enceinte activante. Et le rayonnement de ces corps activés est, comme celui du sel de radium lui-même, composé de rayons déviables et non déviables dans un champ magnétique.

L'activité induite est indépendante de la pression et de la nature du gaz qui existe dans l'enceinte activante. Si l'on active au moyen d'une solution de baryum radifère sous diverses pressions, depuis la pression atmosphérique jusqu'à celle de la tension de vapeur saturée de la solution, on trouve que l'activation limite est la même, et qu'elle s'établit avec la même vitesse, quelle que soit la pression. Quand la substance activante est un sel solide, on peut opérer soit à la pression atmosphérique, soit avec un vide très parfait (pression mesurée à la jauge 2 ou 3 millièmes de millimètre de mercure) ; dans les deux cas l'activation limite semble être la même.

Certaines substances (celles phosphorescentes à la lumière et quelques autres) deviennent lumineuses lorsqu'on les place dans une enceinte activante.

Le sulfure de zinc phosphorescent est particulièrement brillant quand on le met au fond d'un ballon en communication avec un second ballon contenant la solution radifère : il est aussi lumineux que lorsqu'il vient d'être exposé à une lumière intense, et la luminosité se maintient constante tant que la communication subsiste avec la solution radio-active.

Le verre aussi devient phosphorescent par radio-activité induite (le verre de Thuringe est alors plus lumineux que les autres espèces de verre).

L'activité induite des corps placés dans une enceinte activante dépend essentiellement de l'espace libre existant devant eux. Si, dans l'enceinte, on place une série de lames de cuivre parallèles entre elles, mais à des distances successives de plus en plus grandes, on constate que lorsque la distance entre les lames est petite (1 mm par exemple) les surfaces en regard s'activent faiblement. Au contraire, si la distance entre les lames est grande (3 cm par exemple), les surfaces en regard s'activent fortement. On peut dire en première approximation que l'activation de ces lames placées parallèlement est proportionnelle à la distance qui les sépare.

Si l'enceinte activante est en verre, elle est entièrement illuminée, mais elle ne l'est pas également partout. D'une façon générale, les tubes d'une même enceinte sont d'autant plus lumineux et plus radio-actifs qu'ils sont plus larges.

Enfin, l'activité augmente dans une enceinte lorsqu'on augmente la quantité de solution activante. Le pouvoir d'activation d'une solution n'est donc pas analogue à une tension de vapeur.

Influence des substances radio-actives sur la luminescence des gaz, par **Alix de Hemptinne**, *Comptes rendus*, t. CXXXIII, p. 934-935.

L'auteur a démontré [1] qu'un gaz, qui devient

[1] *Comptes rendus*, p. 556 ; mars 1897.

[2] *Écl. Élect.*, t. XXVII, p. 33 ; t. XXVIII, p. 226, 4 avril et 10 août 1901.

[1] *Écl. Élect.*, t. XIII, p. 234, 30 oct. 1897.

lumineux à une certaine pression, sous l'influence de vibrations électriques, devient lumineux à une pression plus forte, lorsqu'on le soumet en même temps à l'action des rayons X; ainsi, l'oxygène, placé dans des conditions déterminées, décrites dans la note rappelée, devient lumineux à la pression de 51 mm, et il émet déjà des lueurs à 68 mm, lorsqu'on le soumet en même temps à l'action des rayons X.

Les radiations émises par les substances radio-actives produisent un effet analogue. Ainsi, M. de Hemptinne a constaté que, si l'on approche ces substances d'un tube contenant de l'air à faible pression et soumis à des vibrations électriques, celui-ci devient lumineux à la pression de 44 mm, alors que, sans la substance, la pression doit être diminuée jusqu'à 33 mm pour observer la luminescence ; les lueurs, qui étaient d'un rouge violet dans le dernier cas, étaient d'un vert jaunâtre sous l'influence des substances radio-actives.

Dans une autre expérience, l'auteur suspendait horizontalement par des fils de soie, au-dessus d'une grande plaque métallique qui est le siège de vibrations de Tesla, un grand tube de 1 m de long sur 0,03 m de diamètre ; ce tube contient de l'air à la pression de 10 m environ. Si l'on approche le tube suffisamment de la plaque, il devient lumineux ; à mesure qu'on l'éloigne, les lueurs s'affaiblissent, et finalement s'éteignent ; si l'on approche alors du tube une substance radio-active, il émet dans le voisinage des lueurs jaunâtres dont l'étendue dépend de la distance du grand tube à la plaque ; lorsqu'on déplace la substance radio-active le long du tube, les lueurs se déplacent avec elle.

Contribution à l'étude des alliages étain-aluminium, par **Léon Guillet**. *Comptes rendus*, t. CXXXIII, p. 935-937.

En appliquant une méthode précédemment décrite, l'auteur a pu isoler à l'état cristallisé et à l'état de poudre cristalline les deux combinaisons Al^4Sn et $AlSn$.

Séance du 9 décembre 1901.

Action du radium sur l'anhydride iodique, par **M. Berthelot**. *Comptes rendus*, t. CXXXIII, p. 973-975.

Poursuivant ses recherches sur les réactions chimiques provoquées par le radium [1], M. Berthelot s'est attaché particulièrement à l'action sur l'anhydride iodique, I^2O^5, dont la décomposition est endothermique.

Dans une première série d'expériences la substance radioactive était placée dans un petit tube de verre disposé dans un tube plus large contenant l'anhydride iodique et où l'on faisait passer un courant d'air à raison de 600 à 700 cm^3 par heure ; l'air passait ensuite dans un flacon renfermant une solution d'azotate d'argent au millième et dans un second flacon contenant une solution étendue de potasse ; l'appareil était maintenu dans l'obscurité et à la température de 10°. L'expérience ayant été poursuivie pendant sept jours, on constata que l'anhydride iodique avait pris une légère coloration violette et que le flacon à azotate d'argent contenait un précipité d'iodure d'argent. L'anhydride iodique avait donc été décomposé dans ces conditions. Dans un essai fait à blanc, c'est-à-dire sans radium, et dans un autre effectué avec le tube à radium enfermé dans une feuille de papier noir, on n'observa aucune trace de décomposition de l'anhydride.

Une seconde série d'essais furent exécutés à la température de 100°, afin de voir si la rapidité de la décomposition de l'anhydride iodique n'augmenterait pas en même temps que la température. Chaque essai dura trois heures ; l'anhydride ne parut pas éprouver de décomposition appréciable pendant ce laps de temps.

Sur les alliages d'aluminium et de magnésium, par **O. Boudouard**, *Comptes rendus*, t. CXXXIII, p. 1003-1005 [2].

Une étude précédente sur la fusibilité des alliages d'aluminium et de magnésium avait fait prévoir à l'auteur l'existence d'au moins deux combinaisons définies : $AlMg^2$ et $AlMg$. En utilisant les données fournies, d'une part, par la Métallographie microscopique, d'autre part par les méthodes chimiques, il est arrivé à isoler, en plus des deux combinaisons précitées, la combinaison Al^4Mg.

(1) *Écl. Élect.*, t. XXIX, p. 301, 23 nov. 1901.
(2) *Écl. Élect.*, t. XXVII, p. 461, 22 juin 1901.

Le Gérant : **C. NAUD.**

Tome XXIX. Samedi 28 Décembre 1901. 8e Année. — N° 52.

L'Éclairage Électrique

REVUE HEBDOMADAIRE DES TRANSFORMATIONS

Électriques — Mécaniques — Thermiques

DE

L'ÉNERGIE

SUR UN CAS PARTICULIER D'ÉQUILIBRE ÉLECTROSTATIQUE

DEUX CYLINDRES DE RÉVOLUTION PARALLÈLES

Ce cas particulier a été traité bien des fois dans l'hypothèse où la charge par unité de longueur est égale à $+m$ pour l'un des cylindres et à $-m$ pour l'autre. Les formules obtenues permettent alors de calculer la capacité d'une ligne télégraphique à double fil formant un circuit fermé.

Je traiterai ici le cas où la charge par unité de longueur est égale à q pour le premier cylindre et à q' pour le second, de façon que la charge totale $q+q'$ ne soit pas nulle. Les deux cylindres seront supposés extérieurs l'un à l'autre, comme le sont les deux fils d'un circuit téléphonique. Le problème trouvera une application dans les circuits téléphoniques adaptés à la transmission télégraphique, par un système dans lequel le courant se partage entre les deux fils. Pour plus de généralité, nous admettrons que les deux cylindres ont des diamètres différents. Nous les supposerons isolés dans l'espace indéfini.

L'on peut évidemment faire abstraction de la troisième dimension, celle qui est dans le sens de la longueur des cylindres. On raisonne alors dans le plan de section droite ; les lignes de base seront chargées d'une quantité égale à la charge par unité de longueur.

Quand on suppose $q+q'=0$, le potentiel conserve une valeur finie à l'infini ; si au contraire on a $q+q' \gtrless 0$, le potentiel aura pour valeur principale à l'infini $(q+q')\log r$, r étant la distance du point considéré au centre de gravité des masses, par exemple, ou à l'origine.

Le potentiel est complètement déterminé si l'on se donne la valeur qu'il prend sur certains contours et sa valeur principale à l'infini.

**

Je tirerai la solution de l'étude d'une fonction convenablement choisie d'une variable imaginaire. Rappelons quelques notions à ce sujet. Soit, dans le plan d'une variable imaginaire $z = x + yi$ $(i = \sqrt{-1})$, une fonction $f(z)$ ayant une dérivée. Mettons en évidence la partie réelle et la partie purement imaginaire. Ecrivons $f(z) = P + Qi$, on aura :

$$\frac{\partial P}{\partial x} = \frac{\partial Q}{\partial y} \quad \frac{\partial P}{\partial y} = -\frac{\partial Q}{\partial x} \quad \frac{\partial^2 P}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 P}{\partial y^2} = 0 \quad \frac{\partial^2 Q}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 Q}{\partial y^2} = 0,$$

ou, en abrégé, $\Delta P = 0$ $\Delta Q = 0$. Alors $P = C^{te}$ est l'équation d'une ligne équipotentielle ; on peut supprimer le champ à son intérieur, si on charge ladite ligne de la quantité $\frac{1}{2\pi}\frac{dP}{du}$ par unité de longueur, $\frac{dP}{du}$ étant la dérivée prise suivant la normale dirigée vers l'intérieur du champ. Enfin, pour évaluer la quantité d'électricité renfermée à l'intérieur d'une ligne fermée L, il suffit de diviser par 2π le flux de force $\int_L \left(\frac{dP}{dx}dy - \frac{dP}{dy}dx\right)$, lequel, d'après les relations déjà écrites entre les dérivées de P et de Q, est égal à : $\int \frac{dQ}{dx}dx + \frac{dQ}{dy}dy = \int dQ$, le sens de description du contour L laissant à droite l'intérieur du champ.

Cela posé, la fonction que je vais considérer est de la forme

$$F = \log\left(\operatorname{tg}(A + Bi) - \operatorname{tg} C\right), \qquad \text{A, B, C étant réels.}$$

Décomposons F en sa partie réelle et sa partie imaginaire, en appliquant la formule :

$$\log u = \frac{1}{2}\log uu_0 + i \operatorname{arc\,tg} \frac{1}{i}\frac{u - u_0}{u + u_0},$$

où u_0 désigne la quantité imaginaire conjuguée de u.

La partie réelle P est :

$$P = \frac{1}{2}\log\left(\operatorname{tg}(A + Bi) - \operatorname{tg} C\right)\left(\operatorname{tg}(A - Bi) - \operatorname{tg} C\right).$$

Nous emploierons les notations :

$$\operatorname{sh} x = \frac{e^x - e^{-x}}{2} = \frac{1}{i}\sin ix \qquad \operatorname{ch} x = \frac{e^x + e^{-x}}{2} = \cos ix \qquad \operatorname{th} x = \frac{e^x - e^{-x}}{e^x + e^{-x}} = \frac{1}{i}\operatorname{tg} ix.$$

Il vient alors :

$$P = \frac{1}{2}\log\frac{\sin(A + Bi - C)\sin(A - Bi - C)}{\cos(A + Bi)\cos(A - Bi)\cos^2 C} = \frac{1}{2}\log\frac{\operatorname{ch} 2B - \cos 2(A - C)}{(\operatorname{ch} 2B + \cos 2A)\cos^2 C}.$$

En développant $\operatorname{tg}(A + Bi)$ dans la fonction F, comme tangente de la somme de deux angles A et Bi, on serait parvenu à la forme équivalente :

$$P = \frac{1}{2}\log(1 + \operatorname{tg} A \operatorname{tg} C)^2 \frac{\operatorname{tg}^2(A - C) + \operatorname{th}^2 B}{1 + \operatorname{tg}^2 A \operatorname{th}^2 B}.$$

Passons à la partie purement imaginaire de F, le coefficient Q de i est :

$$Q = \operatorname{arc\,tg}\frac{1}{i}\frac{\operatorname{tg}(A + Bi) - \operatorname{tg}(A - Bi)}{\operatorname{tg}(A + Bi) + \operatorname{tg}(A - Bi) - 2\operatorname{tg} C} = \operatorname{arc\,tg}\frac{\operatorname{sh} 2B \cos C}{\sin(2A - C) - \sin C \operatorname{ch} 2B}.$$

En développant $\operatorname{tg}(A + Bi)$ dans F comme tangente de la somme de deux angles, on

serait parvenu à la forme équivalente :

$$Q = \text{arc tg} \frac{\text{th}\, B\,(1 + \text{tg}\, A\, \text{tg}\,(A - C))}{\text{tg}\,(A - C) - \text{tg}\, A\, \text{th}^2 B}.$$

Considérons maintenant les cercles découpés dans les cylindres par le plan de section droite.

Ces deux cercles déterminent dans le plan de base une famille de cercles ayant le même axe radical. Les points limites de cette famille sont les deux points conjugués harmoniques l'un de l'autre par rapport aux deux cercles donnés. Appelons a le point limite situé à l'intérieur de celui des deux cercles qui a le plus grand rayon, a' l'autre point limite, qui est situé à l'intérieur du second cercle. Prenons pour axe des x la droite des centres (aa') ; soient r et r' les distances d'un point quelconque $z = x + yi$ aux affixes a et a'. On aura pour équation du cercle entourant le point a, $\frac{r}{r'} = \mu$ avec $\mu < 1$ et pour équation du cercle entourant le point a', $\frac{r}{r'} = \lambda$ avec $\lambda > 1$. D'autre part, le rayon du cercle (μ) est $|a' - a| \times \frac{\mu}{1 - \mu^2}$ celui du cercle (λ) est $|a' - a| \frac{\lambda}{\lambda^2 - 1}$; si le cercle (μ) entourant le point a est plus grand que le cercle (λ), on aura :

$$(\mu\lambda - 1)(\mu + \lambda) > 0 \quad \text{ou} \quad \lambda\mu > 1 \quad \text{ou} \quad \log \lambda + \log \mu > 0.$$

Je poserai maintenant :

$$A + Bi = \frac{\pi}{2} \frac{\log\left(\frac{1}{\lambda\mu} \frac{z - a}{z - a'}\right)}{\log \frac{\lambda}{\mu}}, \quad A = \frac{\pi}{2} \frac{\log \frac{1}{\lambda\mu} \frac{r}{r'}}{\log \frac{\lambda}{\mu}}, \quad B_k = \frac{\pi}{2} \cdot \frac{1}{\log \frac{\lambda}{\mu}} (\varphi - \varphi' + 2k\pi),$$

k étant un entier quelconque positif ou négatif et φ et φ' étant les angles compris entre 0 et 2π, faits avec ox par les rayons vecteurs r et r' respectivement. Je mets k en indice à B, pour indiquer que j'envisage les valeurs de B correspondant à l'entier k. Enfin je poserai :

$$C = \frac{\pi}{2} \frac{\log \frac{1}{\lambda\mu}}{\log \frac{\lambda}{\mu}} = -\frac{\pi}{2} \cdot \frac{\log \lambda + \log \mu}{\log \lambda - \log \mu}.$$

Il résulte des hypothèses faites que les grandeurs respectives de λ et de μ sont telles que l'on a :

$$\frac{-\pi}{2} < C < 0 \quad \cos C > 0 \quad \sin C < 0.$$

En chaque point, c'est-à-dire pour chaque système de valeurs de x et de y, A n'a qu'une valeur, mais B et par suite F en ont une infinité ; or le potentiel doit être uniforme. Toutes les fois que $\varphi - \varphi'$ a augmenté (ou diminué) de 2π, r et r' ayant repris leurs valeurs initiales, le potentiel doit reprendre la même valeur. Soit alors P_k la partie réelle de F correspondant à la valeur B_k de B, la série $\sum_{-\infty}^{+\infty} P_k$ serait une fonction périodique ayant 2π pour période, si cette série n'était pas divergente, car lorsque $\varphi - \varphi'$ varie de 2π, chaque terme

se change dans le terme voisin. Mais il en sera évidemment de même de la série

$$p = \sum_{-\infty}^{+\infty} \left(P_k - \frac{1}{2} \log \frac{1}{\cos 2C} \right),$$

laquelle est convergente.

Je vais montrer que p est une fonction potentielle se réduisant à zéro sur les circonférences (λ) et (μ) et ayant pour valeur principale à l'infini $-\log r'$.

1° La série est convergente. En effet, le terme général est :

$$\frac{1}{2} \log \frac{\text{ch}\, 2B_k - \cos 2(A - C)}{\text{ch}\, 2B_k + \cos 2A} = \frac{1}{2} \log \left(1 - \frac{\cos 2A + \cos 2(A - C)}{\text{ch}\, 2B_k + \cos 2A} \right) = \frac{1}{2} \log \left(1 - \frac{2 \cos C \cos (2A - C)}{\text{ch}\, 2B_k + \cos 2A} \right).$$

La série est donc convergente en même temps que la série $\frac{1}{ch\, 2\, B_k + \cos 2\, A}$, qui est comparable à la série $\frac{1}{ch\, 2\, B_k}$, laquelle est convergente.

Le dénominateur ch $2B_k + \cos 2\, A$ ne pourrait s'annuler que pour $B_k = 0$, $\cos 2\, A = -1$, ou $A = (2\, k + 1) \frac{\pi}{2}$; d'où $\frac{r}{r'} = \frac{\lambda^{2k+2}}{\mu^{2k}}$, k étant un entier positif ou négatif. Si on a $k \geqq 0$, il vient $\frac{r}{r'} = \left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^{2k} \lambda^2 \geqq \lambda^2 \geqq \lambda$, car $\lambda > 1 > \mu > 0$.

Si on a $k \leqq -1$, il vient $\frac{r}{r'} = \left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^{2+k2} \mu^2 \leqq \mu^2 \leqq \mu$.

On aurait donc $\frac{r}{r'} > \lambda$ ou $\frac{r}{r'} < \mu$, et tous les points correspondants sont extérieurs au champ, comme étant à l'intérieur soit du cercle (λ), soit du cercle (μ).

On ne peut donc avoir $\cos 2\, A = -1$, en aucun point du champ.

2° On aura $\Delta\ p = 0$, car on a, quel que soit k, $\Delta P_k = 0$ et par suite, également $\Delta \left(P_k - \frac{1}{2} \log \frac{1}{\cos^2 C} \right) = 0$.

3° On a $p = 0$, soit sur la circonférence (λ), soit sur la circonférence (μ). — Etant donnée la façon uniforme dont la série converge, il suffit de montrer que chaque terme est nul. Or, quel que soit k, P_k est indépendant de B, si on a $\cos 2\ A = - \cos 2\, (A - C)$, ou $\cos (2\ A - C) = 0$, d'où $A = \frac{C}{2} + (2\, k' + 1) \frac{\pi}{4}$, k' étant un entier quelconque positif ou négatif.

Faisons en particulier $k' = 0$; on aura $A = \frac{C}{2} + \frac{\pi}{4}$. On en déduit

$$\frac{\pi}{2} \frac{\log \left(\frac{1}{\lambda\mu} \frac{r}{r'} \right)}{\log \frac{\lambda}{\mu}} = \frac{1}{2} \frac{\pi}{2} \frac{\log \frac{1}{\lambda\mu}}{\log \frac{\lambda}{\mu}} + \frac{\pi}{4} = \frac{\pi}{2} \cdot \frac{\left(\log \frac{1}{\lambda\mu} \lambda \right)}{\log \frac{\lambda}{\mu}},$$

c'est-à-dire : $\frac{r}{r'} = \lambda$.

Faisons, de même, $k' = -1$; on aura $A = \frac{C}{2} - \frac{\pi}{4}$. On en déduit $\frac{r}{r'} = \mu$.

Remarquons de plus que l'on a alors $P_k = \frac{1}{2} \log \frac{1}{\cos^2 C}$; d'où $p = 0$.

Les circonférences (λ) et (μ) font donc partie de l'ensemble des lignes équipotentielles pour lesquelles on a $p = 0$. Quant aux autres circonférences obtenues pour les valeurs

entières de k' différentes de o et de -1, elles sont intérieures soit au cercle (λ), soit au cercle (μ) ; car $\frac{r}{r'}$ et $\log \frac{r}{r'}$ varient dans le même sens, et les circonférences (λ) et (μ) correspondent à deux valeurs successives du paramètre entier k'.

4° La valeur principale de p est $\log \frac{1}{r}$, à l'infini. En effet, supposons que l'on s'éloigne à l'infini dans une direction quelconque. On aura : $\lim (\varphi - \varphi') = 0$, $\lim \frac{r}{r'} = 1$. Envisageons la fonction F (z) et posons $\frac{1}{z} = x$, x étant un infiniment petit. On aura : $F = \log U$

$U = \operatorname{tg}\left(C + \frac{\pi}{2 \log \frac{\lambda}{\mu}} (\log(1 - ax) - \log(1 - a'x)\right) - \operatorname{tg} C$ et d'après la formule

$$\operatorname{tg}(\alpha + h) - \operatorname{tg} \alpha = h\left(\frac{1}{\cos^2 \alpha} + \varepsilon\right),$$

il vient :

$$U = \left(\frac{1}{\cos^2 C} + \varepsilon\right) \frac{\pi}{2 \log \frac{\lambda}{\mu}} \left(\log(1 - ax) - \log(1 - a'x)\right) = \frac{1}{\cos^2 C} \frac{\pi}{2 \log \frac{\lambda}{\mu}} (a' - a)(x + \varepsilon).$$

D'où $F = \log U = \log x + \ldots \equiv \log \frac{1}{z}$ pour valeur principale quand z va à l'infini.

Or la quantité sous le signe log, dans P_k, tend vers zéro, quand on a $B_k = 0$, $A = C$; d'où $\varphi - \varphi' = 0$, $k = 0$ et $\frac{r}{r'} = 1$. Dans la série p, le terme qui devient infini est donc P_0 et il devient infini comme $\log \frac{1}{r'}$.

5° On peut, enfin, constater, que dans le champ, c'est-à-dire dans l'espace entourant les cercles (λ) et (μ), il n'y a pas d'autre point critique que $\varphi = \varphi'$, $\frac{r}{r'} = 1$ (dont il vient d'être question au paragraphe précédent).

En effet, les points critiques sont ceux pour lesquels la quantité sous le signe log est nulle ou infinie. Elle est nulle, si on a :

$$A + Bi = C + k''\pi \qquad (k'' \text{ entier}).$$

D'où : $B = 0$ c'est-à-dire $\varphi = \varphi'$, $k = 0$ et $A = C + k''\pi$.

Or les circonférences de base sont obtenues pour les valeurs de A qui sont $\frac{C}{2} + \frac{\pi}{4}$ et $\frac{C}{2} - \frac{\pi}{4}$, valeurs qui diffèrent l'une de l'autre de $\frac{\pi}{2}$. Un seul des points A, lesquels sont successivement distants de π peut tomber dans cet intervalle et ce point est le point $A = C$ car on a $\frac{C}{2} - \frac{\pi}{4} < C < \frac{C}{2} + \frac{\pi}{4}$.

Il correspond aux points à l'infini, comme on vient de le voir.

Si, au contraire, la quantité sous le signe log est infinie, on a :

$$A + Bi = \frac{\pi}{2} + k'''\pi \qquad (k''' \text{ entier}),$$

D'où $B = 0$, c'est-à-dire $\varphi = \varphi'$, $k = 0$ et $A = \frac{\pi}{2} + k'''\pi$.

Ces points sont successivement distants de π ; or, pour $k''' \geq 0$ on a $A > \frac{\pi}{2}$ et pour $k''' \leqq -1$ on a $A < -\frac{\pi}{2}$. Donc A tombe forcément en dehors de l'intervalle considéré, car

on a :

$$-\frac{\pi}{2} < \frac{C}{2} - \frac{\pi}{4} < o < \frac{C}{2} + \frac{\pi}{4} < \frac{\pi}{2}.$$

En résumé, la fonction $p + C^{te}$ est bien la fonction potentielle, correspondant au cas où l'ensemble des deux cylindres est chargé de la quantité totale égale à — 1.

Comment cette charge — 1 se répartit-elle entre les deux cylindres ? Il suffit de considérer la fonction :

$$q = \sum_{0}^{-\infty} \left\{ Q_k - \left(\frac{\pi}{2} - C \right) \right\} + \sum_{1}^{+\infty} \left(Q_k - \left(\frac{3\pi}{2} + C \right) \right)$$

qui représente une série convergente et qui est telle que $p + qi$ est une fonction de z. On pourrait d'ailleurs ajouter aux divers termes de q des constantes quelconques formant une série convergente. L'intégrale $\int dq$ qui est seule à considérer est indépendante des constantes choisies.

Supposons que l'affixe $z = x + yi$ décrive la circonférence (λ). On a $\frac{r}{r'} = \lambda$.

Le cercle (λ) comprenant a' à son intérieur, φ reprend la même valeur quand on revient au point de départ, tandis que φ' augmente de 2π.

Donc $\varphi - \varphi'$ diminue de 2π. Donc Q_k se change à la fin en Q_{k-1} ; et par suite, la somme des variations des termes Q_k est égale à la variation éprouvée par Q quand le paramètre $\varphi - \varphi' + 2k\pi = B$ (ou si l'on veut $2B$) varie de $+\infty$ à $-\infty$. On peut faire varier $2B$ de $-\infty$ à $+\infty$ et changer le signe de la variation de Q.

Sur la circonférence (λ), on a $A = \frac{C}{2} + \frac{\pi}{4}$, donc $\sin(2A - C) = 1$ et par suite

$$Q = \text{arc tg} \frac{\text{sh} 2B \cos C}{1 - \sin C \,\text{ch} 2B}.$$

Si on pose $Q(2B) = \text{arctg}\, U$ et $U = \frac{\cos C . \text{sh}\, 2B}{1 - \sin C \,\text{ch}\, 2B}$. On aura :

$$\frac{dQ}{d(2B)} = \frac{1}{1 + U^2} \frac{dU}{d(2B)} \quad ; \quad \frac{dU}{d(2B)} = \cos C \frac{(1 - \sin C \,\text{ch} 2B)^2}{\text{ch} 2B - \sin C}.$$

D'où : $\frac{dQ}{d(2B)} > o$

Donc Q va toujours en croissant.

Partons, pour $2B = -\infty$, de la valeur initiale $\frac{\pi}{2} - C$ située dans le 2e quadrant.

Q passe dans le 3e quadrant pour $B = o$ et finit à la valeur $\frac{\pi}{2} + C + n\pi$ (n entier), qui doit être située dans le 3e quadrant, puisque la quantité sous le signe arctg ne devient pas infinie. Cette valeur finale est donc $\frac{3\pi}{2} + C$.

La variation totale, changée de signe, est donc $-(\pi + 2C)$. En divisant par 2π, on a la charge, savoir $-\frac{1}{2} - \frac{C}{\pi}$.

Supposons maintenant que l'affixe $r = x + yi$ décrive la circonférence (μ).

On a $\frac{r}{r'} = \mu$; l'affixe a est à l'intérieur, φ augmente de 2π, φ' reprend sa valeur initiale, donc $\varphi - \varphi'$ augmente de 2π. Ainsi Q_k se changera en Q_{k+1} ; il suffit donc, pour avoir la

somme des variations des quantités Q_k, de prendre la variation totale de Q, quand 2 B varie de $-\infty$ à $+\infty$.

Or, sur la circonférence (μ), on a $A = \frac{C}{2} - \frac{\pi}{4}$. Donc $\sin(2A - C) = -1$ et par suite

$$Q = \text{arc tg} - \frac{\text{sh}2B \cos C}{1 + \sin C \, \text{ch}2B} = \text{arc tg } V$$

et

$$\frac{dQ}{d(2B)} = \frac{1}{1+V^2} \cdot \left(-\cos C . \frac{\text{ch}2B + \sin C}{(1 + \sin C \, \text{ch}2B)^2}\right) < 0.$$

Donc Q va toujours en décroisssant.

Pour $B = -\infty$, partons de la valeur $\frac{\pi}{2} - C$ dans le 2[e] quadrant, Q va en décroissant, passe dans le 1[er] quadrant pour $\text{ch } 2B_1 = -\frac{1}{\sin C}$, puis dans le 4[e] pour $B = 0$, enfin dans le troisième pour $B_2 = -B_1 \left(\text{ch } 2B_2 = -\frac{1}{\sin C}\right)$; Q arrive alors à la valeur finale $\frac{3\pi}{2} + C$. La variation totale est égale à

$$-2\pi + (\pi + 2C) = -(\pi - 2C)$$

La charge de la circonférence (μ) est donc $-\frac{1}{2} + \frac{C}{\pi}$.

La somme des charges est bien égale à -1.

Rappelons que l'on a :

$$\frac{C}{\pi} = -\frac{1}{2} \cdot \frac{\log \lambda + \log \mu}{\log \lambda - \log \mu}.$$

Cela permet de traiter le cas général où le cylindre (λ) a une charge q par unité de longueur et le cylindre (μ) une charge q'. Posons :

$$x\left(-\frac{1}{2} - \frac{C}{\mu}\right) + y = q$$

$$x\left(-\frac{1}{2} + \frac{C}{\pi}\right) - y = q'$$

D'où :

$$x = -(q + q') \quad y = \frac{q - q'}{2} - \frac{2C}{\pi} \cdot \frac{q + q'}{2}.$$

Le potentiel du champ sera, évidemment, donné par la formule :

$$V = x.p - y. \log \frac{r}{r'} + C^{te}.$$

Si on suppose que la charge totale est égale à $q + q'$ et que l'on ait le potentiel V' sur la circonférence (λ), le potentiel V'' sur la circonférence (μ), on aurait :

$$V = -(q + q')\, p + \frac{V' - V''}{\log \lambda - \log \mu} \log \frac{r}{r'} - \frac{V' \log \mu - V'' \log \lambda}{\log \lambda - \log \mu}.$$

Le problème que nous nous étions proposé est résolu par ces formules.

J.-B. Pomey
Inspecteur-ingénieur des Télégraphes.

LE SYSTÈME DÉCIMAL

ET LA MESURE DU TEMPS ET DES ANGLES

Les physiciens d'une part et les électriciens d'une autre ont, dans les congrès de 1900, opposé un refus préalable et formel de discussion aux idées plus ou moins nouvelles et révolutionnaires relatives à la mesure du temps sous une forme décimale.

Ce rejet sans phrase et sans retentissement tourne maintenant à l'avantage des suggestions subversives qu'on a cru pouvoir dédaigner ; les promoteurs de la question lui ont donné une large publicité, elle reste en suspens sur leur propre plaidoyer.

Les motifs du rejet sont épars dans des critiques partielles qu'il importe de rassembler pour répondre au reproche si légèrement formulé d'une opposition par simple routine.

Des raisons d'une tout autre valeur empêchent de conformer strictement au type décimal de la numération les mesures du temps et des angles. Cette conformité (qui ne saurait être acquise sans un bouleversement complet des systèmes actuels de mesures) n'aboutirait qu'à une amélioration arithmétique compensée et au-delà par des défauts géométriques rédhibitoires. Et l'on préconise comme une réforme scientifique une commodité arithmétique d'enseignement primaire très indifférente en principe à l'amélioration des mesures [1].

L'étude du sujet ne comporte actuellement comme but que de préparer pour l'avenir une entente sur les desiderata théoriques plausibles, que de discerner les simplifications possibles des mesures en usage.

La numération décimale [2] s'est imposée aux fondateurs du système métrique par son

---

[1] L'avantage primordial du système métrique réside dans l'unification des poids et mesures et le mérite principal du système C. G. S. électromagnétique actuel est la coordination et la cohérence des unités physiques.

L'uniformité est donc la qualité maîtresse des mesures actuelles et ce qu'il ne faut point remettre en question tant qu'on ne pourra songer à remédier aux imperfections théoriques et au caractère empirique des unités en usage.

Peut-être beaucoup de décimalisateurs à outrance ont-ils sur la valeur théorique du système métrique (et d'autres sur la valeur théorique du système C. G. S. électromagnétique) des illusions que ne partagent ni les fondateurs ni les propagateurs les plus éclairés des mesures modernes. M. Hospitalier — dont le nom ne peut être suspect aux amateurs de progrès — reconnaît le fait en ces termes (*L'Industrie Électrique*, 8e année, 1899, p. 200) : « Les systèmes actuels de grandeurs et d'unités physiques sont basés sur un certain nombre d'hypothèses et le choix d'un certain nombre d'unités empiriques fondamentales dont la science par ses progrès tend à restreindre le nombre chaque jour, mais l'œuvre n'est pas accomplie tant s'en faut, car il reste à établir la relation physique qui fera disparaître le rapport des unités électrostatiques et électromagnétiques (v de Maxevell) ainsi que l'unité empirique de température (le degré centigrade), etc., etc. »

[2] La numération écrite et parlée était décimale avant l'avènement du système métrique ; mais ce type de numération n'était pas usité dans la corrélation des mesures anciennes : toutes les opérations arithmétiques se compliquaient d'un calcul de parties aliquotes. Ce calcul disparait lorsque la corrélation des unités est conforme au type de la numération ; cette suppression est un avantage arithmétique inconnu dans l'usage avant les unités métriques, avantage indépendant d'ailleurs du type de numération choisi. Cette supériorité n'est donc pas particulière au type décimal et lui a été dévolue par le choix de la numération décimale ; mais les fondateurs du système métrique ont eu pour choisir la numération décimale une raison péremptoire — *elle existe.*

C'est un avantage de fait qui manque précisément à la numération duodécimale (de base 12) qu'on a reproché aux fondateurs du système métrique d'avoir négligée. Cette numération n'a pour ainsi dire qu'une existence algébrique et virtuelle ; deux chiffres manquent pour la représenter et elle ne s'énonce pas. Néanmoins, au point de vue purement spéculatif, la supériorité de la numération duodécimale est indéniable et la recommande — pour l'avenir — aux progressistes qui à la suite de Charles Fourier ne reculent pas devant les innovations radicales. En attendant souhaitons modestement que l'étude de cette numération vulgarisée dans l'enseignement primaire ramène à sa juste valeur le culte du système décimal. Voici les références principales :

Ch. Fourier, *Œuvres complètes*, t. IV, (3e vol., Théorie de l'unité naturelle). Paris, 1841, p. 586 : « ..... La

existence de fait et sans compétition et si ces savants ont commis une erreur, c'est plutôt d'avoir cru le calcul décimal applicable directement à la mesure du Temps et de la Circonférence.

A l'appui de cette manière de voir ont peut invoquer l'échec immédiat subi il y a un siècle par la tentative de décimalisation du Jour par la Convention Nationale. Observons d'ailleurs que cet échec décimal n'atteint pas directement le *système métrique*, car la décimalisation du jour est un mode de décimalisation différent de celui du système métrique.

La définition du Mètre — d'après les auteurs du système métrique — applique la division décimale au *quadrant* terrestre et non au méridien entier.

La seule division corrélative est celle du Quadrant en Grades et celle du Méridien en 40 Chrones ; les Grades subsistent grâce à l'emploi qu'en a fait le service géographique de l'Armée, leur usage est tout récemment à l'étude dans la Marine en vue de leur extension aux cartes hydrographiques et au mesures nautiques en employant des tropomètres (chronomètres où les décagrades-temps tiennent lieu de chrones, dont le nom n'est pas prononcé). Ce mode de décimalisation préconisé par M. d'Abbadie (1) et par M. de Chancourtois (2) peut seul se présenter comme dérivant du système métrique.

Une fraction décimale du méridien entier pourrait seule être revendiquée à bon droit par les défenseurs intransigeants de la décimalisation du Jour; leur unité de longueur devrait être un multiple ou un sous-multiple de quatre mètres.

Quel que soit d'ailleurs le mode proposé, la décimalisation stricte du temps et des angles rencontre des obstacles insurmontables :

En premier lieu l'insuffisance du système décimal au point de vue de la divisibilité (3).

Ensuite, au point de vue de l'uniformité des mesures, la décimalisation appliquée au Temps et à la Circonférence n'aboutit qu'à une complication, car il y avait au préalable un accord universel et séculaire ; les 24 heures du Jour et le pendule battant la seconde sexagésimale de temps moyen sont d'un emploi unique dans le monde civilisé. La *seconde* s'est imposée par là aux créateurs modernes du système C.G.S. comme le calcul décimal aux fondateurs du système métrique.

---

nature et l'économie conseillent le nombre 12 et ses puissances, nombres qui réunissent la plus grande somme de diviseurs dans la moindre somme d'unités. On trouve aussi cette faculté dans les mixtes de 10 et 12 comme 120 et 360. . . . . . Méconnaissant ce principe, les modernes, dans la réforme du système métrique, ont conservé la numération décimale, si facile à métamorphoser en douzainale par l'addition de 2 signes qui signifieraient 10 et 11. »

Publication des manuscrits de Ch. Fourier, année 1851, 1 vol., à la Librairie phalanstérienne à Paris. — Note « *Système duodécimal* » : « Je ne prétends pas faire l'éloge du système métrique de la France. Il est contraire à la nature en coordinnant les calculs au nombre 10 et à ses puissances. Le nombre naturel à la numération c'est celu' qui contient le plus de diviseurs communs dans la moindre somme d'unités. C'est le nombre 12. . . . . La numération décimale nous vient des sauvages qui comptent par le nombre de leurs doigts, sans s'apercevoir que les pouces sont faits pour (marquer les divisions et puissances de 12) être posés en divers sens sur les 12 phalanges des 2 mains, et y marquent le nombre dans l'ordre duodécimal..... ».

Le système métrique, son établissement et sa propagation, par G. Bigourdan, Paris 1901, on lit p. 17, dans l'extrait du rapport du 27 octobre 1790 de la Commission de l'Académie des Sciences à l'Assemblée Nationale : « L'échelle duodécimale aurait quelques avantages de plus, mais ce changement d'échelle ajouté à tous les autres rendrait le succès presque impossible..... »

(1) *Comptes rendus de l'Académie des Sciences*, t. LXXI, 8 août 1870, p. 362.

(2) *Comptes rendus de l'Académie des Sciences*, t. XCVI, 7 mai 1883, p. 1379.

(3) Que l'on parle du Jour et de la Circonférence ou du Quadrant, des fractions entières dont les dénominateurs sont les nombres les plus simples s'expriment décimalement par des nombres périodiques; la complication qui s'ensuit dans la désignation des angles les plus usuels est un défaut rédhibitoire dans toutes les applications de la géométrie, le triangle équilatéral, l'hexagone régulier, etc., etc.. ne sont pas des fractions décimales entières de la circonférence. L'inconvénient surpasse de beaucoup l'avantage arithmétique du calcul décimal.

***

En ce qui concerne l'*Heure*, le changement du cadran horaire soulèverait à lui seul une difficulté équivalente à celle d'un changement de numération.

Le cadran de douze heures avec ses aiguilles faisant l'une 2 tours et l'autre 24 tours par jour est le *cadran* où l'on *voit* l'heure ; la position des aiguilles sur ce cadran équivaut à un chiffre et changer le rapport de leurs déplacements ne serait pas une innovation moindre que d'adopter le systéme duodécimal et de faire lire douze le chiffre (10) désignant actuellement dix [1].

La division horaire du Jour a acquis dans le monde une nouvelle importance par la création des *fuseaux horaires* [2] et l'institution des *vingt-quatre heures normales* [3] qui, à l'étranger, rendent uniforme l'heure sinon la temps total lui-même ;

Toutefois, comme les fuseaux ont été élaborés par leurs promoteurs (MM. les ingénieurs Sandford Fleming et Allen et M. le Dr Schram) dans un but surtout commercial et rattachés au temps continental anglais de Greenwich, leur point de départ est aussi défectueux que celui du jour astronomique au point de vue de la date même des jours.

Les difficultés auxquelles se heurterait la suppression de l'heure ne sont pas négligées par tous les décimalisateurs et une solution mixte, bornée à fractionner l'heure décimalement a été proposée. Celle-ci comporte malheureusement, comme les décimalisations les plus radicales, le changement de valeur de la subdivision du jour définissant l'intervalle fondamental de battement de pendule étalon, en un mot le changement de la *seconde* sexagésimale, 86 400e partie du jour moyen, dont l'usage universel est actuellement aussi intangible, à notre avis, que celui de l'heure.

Les décimalisations du Jour et de l'Heure qui ont été proposées comportent des pendules types différents du pendule à *seconde* ; celui des purs décimalisateurs a pour intervalle fondamental la 100 000e partie du jour moyen [4].

L'échange de la seconde nécessiterait le changement de toutes les mesures où le temps

---

(1) Le cadran de douze heures est d'ailleurs compatible moyennant une graduation en double avec la numération des heures de 0 à 24.

Au surplus, sur ce cadran, la graduation importe peu et la lecture est intuitive pour ainsi dire. Tout cadran différent, celui de la pendule sidérale, comme celui du tropomètre, oblige à lire la graduation. Le fait résulte de l'usage unique et séculaire du cadran de douze heures et il a été ressenti sinon défini nettement par plusieurs adeptes de la décimalisation ; la division du jour en 20 parties préconisée par M. Bouquet de la Grye (*Bulletin de la Société astronomique de France*, 11e année, Paris, 1897, p. 64), par M. Paul Vacher (*Revue chronométrique*, novembre 1898, p. 170), etc., conserverait l'aiguille des deux tours par jour.

Cet atermoiement n'éviterait pas l'inconvénient d'un cadran analogue à l'ancien pour figurer les nouvelles divisions du jour; ce défaut, selon nous, a contribué à l'échec de la décimalisation à l'époque même de la Révolution, et aussi la conservation des mots heure, minute et seconde *décimales* pour désigner les intervalles nouveaux. Une dispositisn distincte de cadran n'aurait pas été moins indispensable que des noms nouveaux.

(2) A. Poulain (s j), *L'unification des heures et les fuseaux horaires*, Paris, août 1890; Retaux-Bray, éditeurs.

(3) *Vie scientifique*, Revue des Inventions nouvelles, 1er semestre de 1897, p. 303 : « Sur les cadrans des fuseaux horaires la situation de la grande aiguille devient identique et les divergences locales se réduisent à une position différente de la petite aiguille, à des nombres entiers d'heures.

« Il suffirait d'accoler à la petite aiguille de chaque horloge une aiguille supplémentaire (faisant avec elle un angle constant en rapport avec l'angle horaire du fuseau) pour voir simultanément l'heure particulière du fuseau et celle du fuseau choisi pour origine du temps universel.

(4) « L'échange de la seconde contre la cent-millième de jour n'aurait encore d'autre avantage que la simplification arithmétique des calculs et présenterait à l'encontre l'inconvénient déjà signalé des fractions simples du jour désignées par des nombres périodiques.

Si d'ailleurs la décimalisation était celle du jour et non pas celle du quadrant, « on ne pourrait, objecte M. d'Abbadie (*Comptes rendus de l'Académie des Sciences*, 6 juin 1870, t. LXX, p. 1221), sans une multiplication préalable, prendre le sinus..., etc., d'un angle horaire, ainsi que le besoin s'en fait sentir continuellement... Le quadrant, dit-il, est l'unité inévitable pour les calculs numériques ».

intervient explicitement ou implicitement, observe M. Janet (*Éclairage Électrique*, 26 juin 1897, t. XII, p. 39), la création d'unités nouvelles pour toutes les grandeurs définies *par seconde* et aboutirait par conséquent à la création en partie double des unités existantes.

Néanmoins il faut se garder de croire et de laisser dire que l'obstacle au bouleversement proposé tient à sa difficulté et à l'attachement au système C.G.S. actuel, il réside uniquement dans l'inutilité scientifique d'un changement aboutissant à la création d'unités nouvelles aussi empiriques que leurs devancières [1].

Le mode actuel de mesure du Temps et de la Circonférence, s'il n'est pas strictement *décimal*, n'est pas davantage exclusivement *duodécimal* et la transformation en conformité

---

(1) Dans l'élaboration du système C.G.S. le choix du centimètre et du gramme correspond à une notion de cohérence qui n'existait pas entre les unités fondamentales du système métrique, le mètre et le kilogramme.

On a négligé délibérément cette considération en choisissant la *seconde* comme unité fondamentale arbitraire de temps; on n'a pas fait état de la loi astronomique qui relie la masse, la longueur et le temps, jugée alors numériquement insuffisante pour la précision des mesures ordinaires de la physique (Everett, trad. par Raynaud, Unités et Constantes physiques, Paris, 1883, p. 66).

S'il y a lieu — pour l'avenir — d'étudier l'abandon de la seconde et d'instituer une nouvelle unité de temps, la corrélation des unités fondamentales devra être envisagée. Cette question particulière nécessite ici un certain développement motivé d'ailleurs par sa nouveauté.

En plusieurs articles de ce recueil, (*La Lumière Électrique*, 15 janvier 1887, t. XXIII, p. 101; 28 juin 1890, t. XXXVI, p. 601; *L'Éclairage Électrique*, 14 décembre 1895 t. V, p. 481), j'ai exposé les conséquences que comporte la relation astronomique au point de vue théorique des grandeurs physiques et de leurs dimensions; ces considérations pourraient actuellement servir de préface au point de vue nouveau de la corrélation numérique des unités fondamentales qui a été beaucoup plus récemment élucidé par M. Lippmann (*Comptes rendus de l'Académie des Sciences*, 8 mai 1899, t. CXXVIII, p. 1137), dans les termes suivants :

« Pour mesurer en valeur absolue la durée d'un phénomène dû à l'attraction universelle, il suffit de prendre égal à l'unité le coefficient de l'attraction newtonnienne.....; le temps se trouve dès lors mesuré en valeur absolue, en fonction d'une unité dont la valeur concrète est parfaitement déterminée, » (autant que le sont elles-mêmes les données astronomiques du calcul).

M. Lippmann indique 3 862 secondes comme valeur de cette unité de temps absolue exprimée en temps moyen, les données du calcul étant les nombres de l'Annuaire du Bureau des Longitudes.

M. Lippmann nomme *heure naturelle* cette unité de temps qui « est d'abord la racine carrée de la constante de l'attraction newtonienne, déterminée par plusieurs auteurs. »

L'ensemble des données acquises sur la Constante de la Gravitation a fait l'objet d'une communication de M. Vernon Boys au Congrès de physique de 1900 (Rapports présentés au Congrès international de Physique de 1900, à Paris, t. III, p. 306). Ce document contient toutes les valeurs expérimentales de l'élément caractéristique Δ dit densité moyenne de la terre; il suffit, pour le but que nous poursuivons, de citer les valeurs principales, elles figurent à la première colonne du tableau. Les valeurs relatives correspondantes de la constante d'attraction G figurent à la seconde colonne et la troisième contient respectivement les chiffres qui s'ensuivent pour l'*heure naturelle* t. La valeur numérique déjà citée donnée par M. Lippmann figure comme première valeur.

	Δ	G	*t*
Cavendish	5,45	$6,75 \times 10^{-8}$	3 848
Première valeur (M. Lippmann)		$6,70 \times 10^{-8}$	3 862
Vernon Boys.	5,53	$6,66 \times 10^{-8}$	3 875
Baron Eotvos.	5,55	$6,65 \times 10^{-8}$	3 878
Cornu et Baille.	5,56	$6,62 \times 10^{-8}$	3 887
Baily (adopté par Everett).	5,67	$5,48 \times 10^{-8}$	3 928

Dans sa communication, M. Lippmann se borne à l'énoncé de la valeur de l'*heure naturelle* résultant des données adoptées dans son calcul et n'examine pas le chiffre obtenu au point de vue des rapports numériques plus ou moins simples que l'*heure naturelle* peut avoir avec les durées du Jour, de l'Heure vulgaire, etc., etc.; c'est le point de vue nouveau auquel nous l'envisageons et pour lequel nous avons établi le tableau ci-dessus.

Dans la limite de variation que comportent les chiffres expérimentaux et coïncidant, pour ainsi dire avec les valeurs considérées comme les plus probables, il y a en effet une valeur de l'*heure naturelle* offrant des rapports numé-

exacte à une numération au détriment de l'autre serait aussi désavantageuse dans un sens que dans l'opposé.

Nous nous demandons si le caractère mixte du système actuel est toujours bien saisi et nous pensons qu'il peut n'être pas inutile de mettre en lumière par le tableau ci-dessous la part faite respectivement aux facteurs de 12 et de 10 :

$12 \times 2 =$	24 Heures	par Jour.
$12^2 \times 10 =$	1 440 Minutes	
$12^3 \times 10^2 \times \frac{1}{2} =$	86 400 Secondes	
$12 \times 10 \times \frac{1}{2} =$	60 Minutes de temps	par Heure.
$12^3 \times 10^2 \times \frac{1}{4} =$	3 600 Secondes	
$12 \times 10 \times \frac{1}{2} =$	60 Secondes — par Minute de temps.	
$12 \times 10 \times 3 =$	360 Degrés	par Circonférence.
$12 \times 10^3 \times \frac{3}{2} =$	21 600 Minutes	
$12^3 \times 10^3 \times \frac{3}{4} =$	1 296 000 Secondes d'arc	
$12 \times 10 \times \frac{1}{2} =$	60 Minutes	par Degré.
$12^2 \times 10^2 \times \frac{1}{4} =$	3 600 Secondes d'arc	
$12 \times 10 \times \frac{1}{2} =$	60 Secondes d'arc — par Minute.	

La balance sensiblement égale tenue entre les deux numérations caractérise le système en usage. Indépendamment du choix et de la désignation numérique des unités, ce système

---

riques assez simples avec le Jour, avec l'Heure vulgaire et avec le Grade. Cette valeur et les rapports sont les suivants :

Heure naturelle $=$ 3 888 *secondes* $= \frac{9^e}{200}$ *de jour* $=$ 45 millièmes de jour.

$= 2^4 \times 3^5$ *secondes* } $= \frac{27}{25}$ *d'heure vulgaire*.
$= 432 \times 9$ *secondes* }
$=$ 18 *grades-temps*.
$=$ 972 *minutes d'arc*.

La valeur de la *constante de gravitation* correspondant à l'*heure naturelle* de 3888 secondes est de 6,6183 $\times 10^{-8}$ C. G. S. et le chiffre relatif dit de la *densité* moyenne de la Terre est 5,56 (ce dernier chiffre dépend de la valeur adoptée pour la gravité et peut aussi être affecté par la divergence admise entre l'étalon du mètre et sa définition de principe).

La plus simple valeur entière est celle en grades-temps et la décimalisation du *quadrant* est celle précisément qui est corrélative systématiquement du *mètre*.

Au point de vue décimal on peut dire que l'*heure naturelle* s'exprime en fonction du jour ou du quadrant par un nombre fractionnaire décimal entier; c'est un rapport d'un caractère mixte tout comme celui du nombre de *secondes* du Jour 86 400.

La simplicité du rapport de l'*heure naturelle* à *l'heure* vulgaire $3^3 \times 5^{-2}$, est au moins curieuse (et sans doute pas plus fortuite que la valeur numérique du v de Maxwell) ; elle peut fixer les valeurs définitives tant de l'*heure naturelle* que de la *constante de gravitation*.

L'*heure naturelle* est — d'après M. Lippmann comme d'après Everett — la durée qui intervient directement dans le calcul analytique des astronomes; ceux-ci pourront apprécier sa transformation facile en unités usuelles et sentir d'autant moins le besoin d'une innovation dans la mesure du Temps.

L'*heure naturelle* elle-même ne constitue pas d'ailleurs une unité applicable à la mesure usuelle du Temps, sa valeur étant fractionnaire par rapport au Jour; elle est tout à fait comparable sous ce rapport au *temps sidéral*.

est avantageux par son ampleur arithmétique ; la décimalisation exclusive a un caractère beaucoup plus étroit, une infériorité scientifique manifeste (1).

L'antiquité ne motive donc pas seule le respect dû au monument archaïque de la mesure du Temps. Au lieu de le démolir que ne cherche-t-on plutôt à l'embellir en étudiant les améliorations que son usage peut admettre.

Le point vulnérable du système mixte est la complexité des unités, l'usage rémanent du calcul des parties aliquotes. A cet égard un reproche fondé peut assurément être formulé ; mais il n'est nullement impossible d'y remédier ; une innovation très simple suffirait, dont l'exposé servira de conclusion à notre étude.

A notre avis le défaut du système mixte de mesure du temps, apparent depuis la vulgarisation populaire du système métrique, est de ne pas montrer ce qu'il comporte de décimal.

Le remède consisterait à mettre en évidence et en usage les multiples décimaux *existants* des unités principales ; on opérerait ainsi une décimalisation en sens contraire de celles jusqu'ici préconisées, et qui, dans la majorité des cas usuels, abolirait le calcul des parties aliquotes.

Le Jour et l'Heure s'expriment en effet par des nombres entiers de *centaines de secondes*.

La circonférence par un nombre entier de *centaines de minutes d'arc*.

Les fondements inébranlables du Jour, de l'Heure et de la Seconde ont été précédemment établis et la *seconde* (qui est d'ailleurs l'unité fondamentale C. G. S.) est l'unité de réduction pour tous les calculs d'heures, de minutes ou de fractions de jour.

La *minute d'arc* au point de vue de la circonférence est comparable, relativement, à la *seconde* de temps en ce qui concerne les mesures angulaires.

La *minute d'arc* est l'unité fondamentale des navigateurs et correspond à leur mesure

(1) Pour se convaincre du fait, il suffit d'examiner ci-après les facteurs premiers et les diviseurs des nombres types des différents systèmes et les valeurs relatives des unités en usage.

FACTEURS PREMIERS ET DIVISEURS

des

nombres types des différents systèmes.

$2^3 \times 3^2 \times 5$	
360	
3	120
4	90
5	72
6	60
8	45
9	40
10	36
12	30
15	24
18	20

$2^5 \times 3^3$	
864	
3	288
4	216
6	144
8	108
9	96
12	72
16	54
18	48
24	36
27	32

$2^4 \times 3 \times 5$	
240	
3	80
4	60
5	48
6	40
8	30
10	24
12	20
15	16

$2^2 \times 5^2$	
100	
4	25
5	20
10	10

$2^3 \times 3^3$	
216	
3	72
4	54
6	36
8	27
9	24
12	18

$2^4 \times 5^2$	
400	
4	100
5	80
8	50
10	40
20	20

itinéraire universelle, le mille marin. L'emploi décimal de cette unité est à peine une innovation ; le mille marin compte 10 encablures et l'amiral Fleuriais a préludé à l'emploi décimal de la *minute d'arc* dans un instrument nautique particulier ([1]).

Nous proposons finalement d'employer:

La division directe de l'*heure en 36 centaines de secondes* (qui existe mais n'est pas usitée) ([2]).

VALEURS DES UNITÉS	QUADRANT	HEURE	CENTAINE de Minutes (d'arc).	DEGRÉ	GRADE	CENTAINE de Secondes (de temps)	MINUTE de temps.	MINUTE (d'arc).	SECONDE (de temps).	SECONDE d'arc.
Jour ou Circonférence .	4	24	216	360	400	864	1 440	21 600	86 400	1 296 000
Quadrant	1	6	54	90	100	216	360	5 400	21 600	324 000
Heure	$\frac{1}{6}$	1	9	15	$\frac{100}{6}$	36	60	900	3 600	54 000
Centaine de Minutes (d'arc)	$\frac{1}{54}$	$\frac{1}{9}$	1	$\frac{5}{3}$	$\frac{50}{27}$	4	$\frac{20}{3}$	100	400	6 000
Degré	$\frac{1}{90}$	$\frac{1}{15}$	0,6	1	$\frac{10}{9}$	2,4	4	60	240	3 600
Grade	0,01	0,06	0,54	0,9	1	2,16	3,6	54	216	3 240
Centaine de Secondes (de temps)	$\frac{1}{216}$	$\frac{1}{36}$	0,25	$\frac{5}{12}$	$\frac{25}{54}$	1	$\frac{5}{3}$	25	100	1 500
Minute de temps. . . .	$\frac{1}{360}$	$\frac{1}{60}$	0,15	0,25	$\frac{5}{18}$	0,6	1	15	60	900
Minute (d'arc)	$\frac{1}{5\,400}$	$\frac{1}{900}$	0,01	$\frac{1}{60}$	$\frac{1}{54}$	0,04	$\frac{1}{15}$	1	4	60
Seconde (de temps). . .	$\frac{1}{21\,600}$	$\frac{1}{3\,600}$	0,0025	$\frac{1}{240}$	$\frac{1}{216}$	0,01	$\frac{1}{60}$	0,25	1	15
Seconde d'arc	$\frac{1}{1\,296\,000}$	$\frac{1}{54\,000}$	$\frac{1}{6\,000}$	$\frac{1}{3\,600}$	$\frac{1}{3\,240}$	$\frac{1}{1\,500}$	$\frac{1}{900}$	$\frac{1}{60}$	$\frac{1}{15}$	1

([1]) *Micromètre à double réflexion* de M. l'amiral Fleuriais. — Catalogue des instruments construits par A. Hurliman, 13, passage Dauphine à Paris : — « Il n'existe ni limbe, ni vernier..... Le tambour est divisé en 100 parties valant chacune une minute d'arc..., un trait sert d'index pour le comptage du nombre de tours de la vis, c'est-à-dire du nombre de centaines de minutes. »

([2]) La figure 1 indique l'aspect du cadran de douze heures gradué en 36 centaines de secondes; l'intervalle d'un chiffre horaire au suivant correspond à 3 centaines de secondes ; (on passe des minutes de temps actuelles aux centaines de secondes en multipliant par $^6/_{10}$).

Les cadrans d'horloge ou de chronomètre se distinguent en outre par le parcours en cent secondes du tour de l'aiguille trotteuse (faisant 36 tours à l'heure) et la division décimale de ce parcours, figure 2.

Transitoirement, — et tant que l'usage vulgaire le réclamera — les cadrans en centaines de secondes pourront garder simultanément la division ancienne en minutes de temps (moins apparente toutefois et surtout pour habituer aux concordances des deux modes de lecture, figures 3 et 4.

L'avantage de l'innovation est sensible surtout pour les montres chronographes et compteurs qui, totalisant

La division (pareillement existante mais inusitée) de la *circonférence* en 216 *centaines*

---

décimalement les secondes, suppriment par conséquent la lecture complexe en minutes et secondes et le calcul de réduction qui s'ensuit.

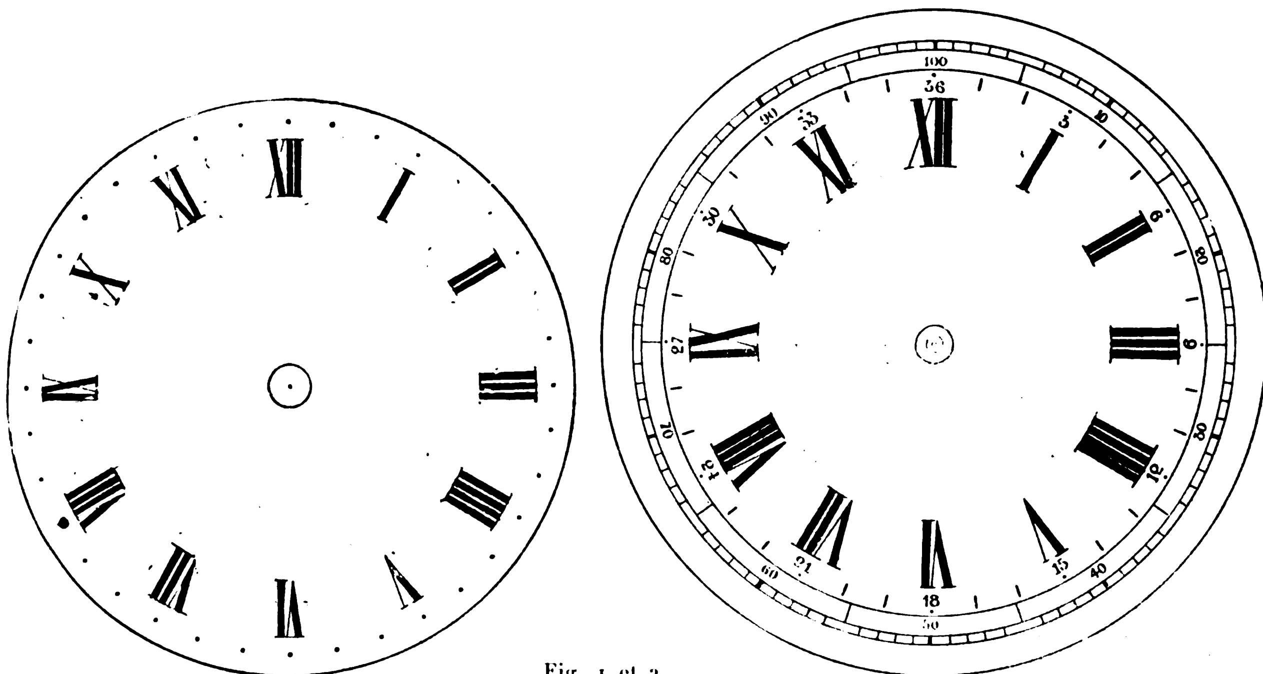


Fig. 1 et 2.

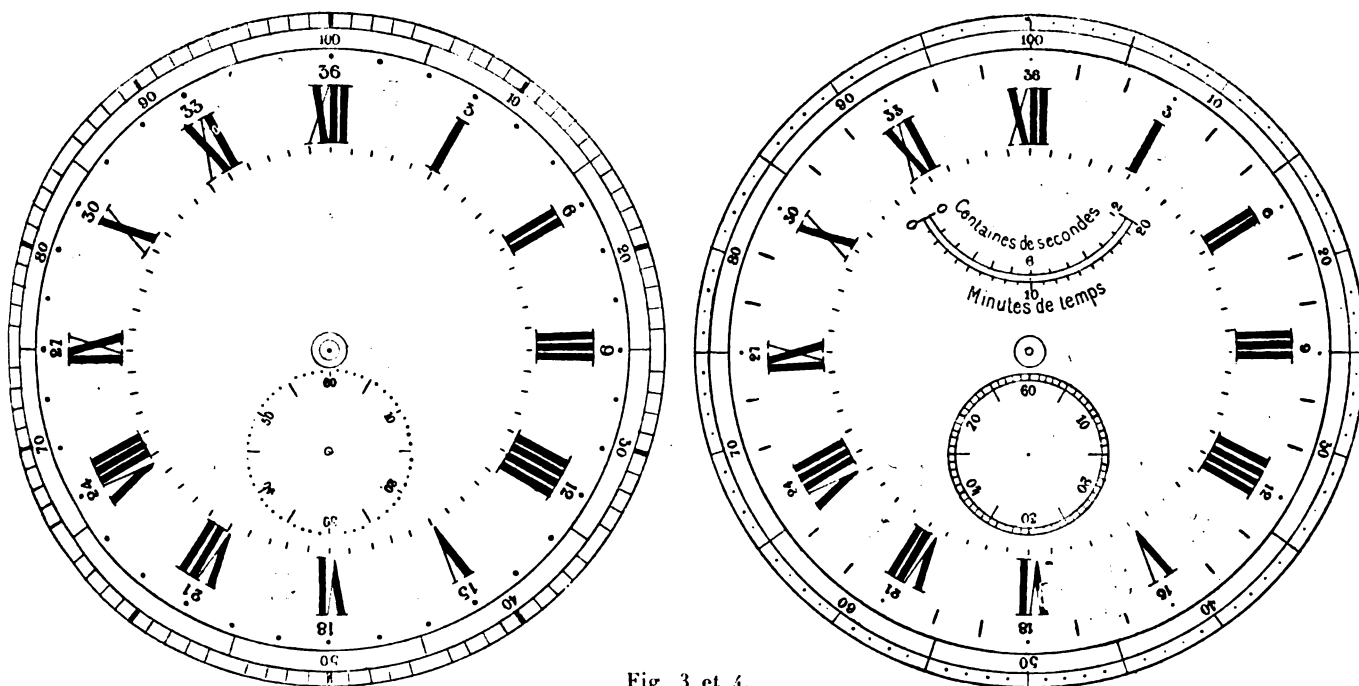


Fig. 3 et 4.

Quant à la notation écrite du temps en heures, centaines de secondes et secondes, on pourrait adopter une convention pour la distinguer à vue.

Par exemple, on ferait suivre le chiffre horaire d'un trait, puis on distinguerait par un point et virgule les deux

de minutes d'arc. (L'angle droit en 54 *centaines de minutes*, l'angle du triangle équilatéral en 36 *centaines de minutes*, celui de l'hexagone régulier en 72 *centaines de minutes*) avec sous-multiples décimaux (1).

---

groupes de chacun deux chiffres des centaines de secondes et des secondes; une virgule précéderait ensuite, et comme actuellement les fractions décimales de seconde.

Au lieu de :	1 h. 7 m. 20 s.	4 h. 35 m. 6 s.	10 h. 21 m. 34 s. 4	16 h. 40 m. 5 s.
On écrirait :	1 -. 04; 40,	4 -. 18; 06,	10 -. 12; 94,4	16 -. 24; 05.

La conservation transitoire des deux modes de mesure sur les cadrans, fig. 3 et 4, prouve que nous n'avons nullement l'illusion que la suppression de la minute de temps pénétrera d'emblée dans l'usage.

Bien qu'il soit tout aussi aisé de compter les tours d'une machine par 100 secondes que pendant 60, l'habitude ne se modifiera pas instantanément. On peut avancer cependant que la résistance à la nouvelle coutume viendra surtout du public qui ne fait pas les mesures ; les physiciens et les électriciens qui comptent déjà par seconde les périodes des ondulations feront sans doute bon accueil à la centaine. Chiffrer par seconde les périodes d'un alternateur et donner par minute le nombre de tours de la machine qui le mène est une anomalie peu défendable.

(1) La figure 5 représente un rapporteur divisé et chiffré en centaines de minutes; la figure 6 représente la division pour un cercle entier; les divisions d'instruments comportent, suivant la grandeur des limbes, des subdivisions au 1/2 ou au 1/10, des verniers au 1/10, au 1/50 ou au 1/100 analogues à ceux en usage.

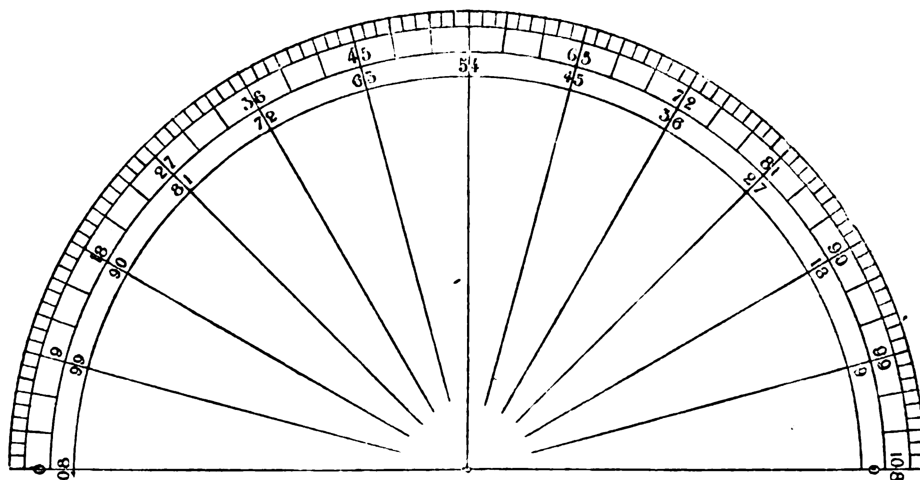


Fig. 5.

La division de la circonférence en 216 *centaines de minutes* (*d'arc*) propose pour unité angulaire unique subdivisée décimalement l'une des trois unités usitées actuellement, la principale dès à présent, sauf au point de vue purement graphique de la géométrie.

Sa raison d'être apparaîtra d'abord aux personnes qui ont journellement des calculs numériques d'angles à effectuer; celles-ci ne tarderont pas à apprécier les valeurs entières (nouvelles mais plus simples) des principaux angles jointes à la commodité du calcul décimal. (L'avantage n'est guère moindre au point de vue arithmétique que celui du Quadrant décimal.)

L'avantage principal de la division proposée sera probablement moins vite compris; il réside dans la conciliation des commodités arithmétiques du calcul décimal avec les exigences des divisions géométriques de la circonférence. Les nombres en centaines de minutes (d'arc) sont plus simples que ceux en degrés (les $^6/_{10}$ des valeurs actuelles) et non moins avantageux pour la division géométrique de la circonférence.

Les appellations en centaines de minutes nécessitent l'abolition des désignations en degrés, qu'il s'agira d'obtenir progressivement et ceci ne laissera pas de rencontrer une forte opposition dans les habitudes à modifier.

Toutefois, nous avons signalé précédemment l'emploi déjà universel de la *minute d'arc* dans la navigation ; et nous ne faisons qu'étendre cet usage en préconisant celui de la *centaine de minutes* (d'arc) tant pour les latitudes que pour les longitudes. Dans le domaine spécial de cette application, l'exclusion de toute désignation en temps est recommandable, et, à défaut, la transformation immédiate en valeur angulaire. [La valeur angulaire en *centaine de*

Et corrélativement d'abolir progressivement l'usage de la minute de temps, du degré et de la seconde d'arc. (Le double emploi des mots minute et seconde disparait alors ; et par définition la *Minute* est un angle, la *Seconde* un temps). Cette définition est suivie désormais dans la suite de notre exposé.

Chacun des 24 fuseaux horaires de Sandford Fleming vaut 9 centaines de minutes et ce nombre est la différence de longitude de deux heures normales consécutives. Nous n'avons fait qu'indiquer précédemment l'origine fâcheuse adoptée pour ces fuseaux et nous devons préciser maintenant la condition que devrait remplir le point de départ du temps et des

---

minutes et fractions décimales d'un temps lu en heures et centaines de secondes s'obtient en multipliant par 9 le nombre horaire et additionnant le produit avec le quotient par 4 des *centaines de secondes*.]

Voici l'expression en angles des valeurs horaires précédemment données en exemple :

Les temps usuels s'expriment :	1 h. 7 m. 20 s.	4 h. 30 m. 6 s.	10 h. 21 m. 34 s. 4	16 h, 40 m. 5 s.
En centaines de secondes :	1 -. 04; 40,	4 -. 18; 06,	10 -. 12; 94,4	16 -. 24; 05,
En centaines de minutes d'arc :	10; 10,	40; 51,5	93; 23,6	150; 01,25

Le tropomètre de M. le commandant Guyou réalise pour le système du Quadrant décimal le desideratum

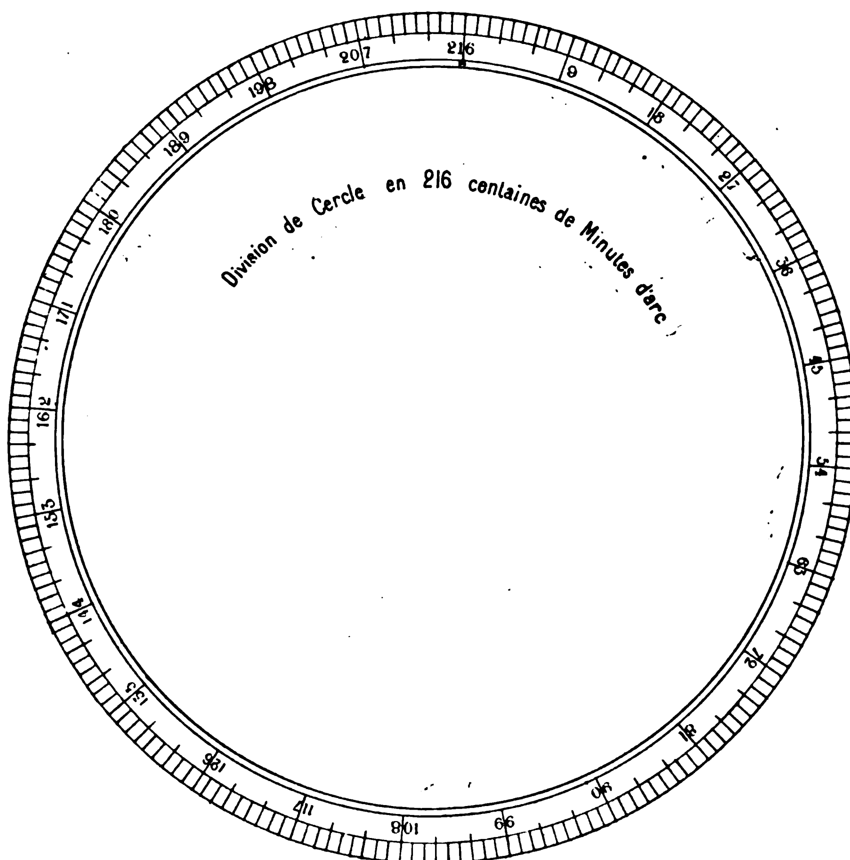


Fig. 6.

signalé ; la construction d'un chronomètre analogue facilitant la lecture directe des longitudes en *centaines de minutes* (et fractions décimales) n'offrirait pas de difficulté. Le cadran pourrait être chiffré directement en 216 ou laisser en évidence les chiffres horaires, comme les exemples représentés figures 7 et 8, la petite aiguille de ce cadran

****

longitudes universels; aucune rivalité nationale n'est en jeu dans cette considération (1). Il s'agit de concilier la *date* du temps civil avec celle du temps universel, éviter en un mot de retomber dans l'ambiguïté actuelle de 12 heures d'écart entre le temps civil et le temps astronomique. La numération des heures civiles de 0 à 24 ne ferait au préalable qu'accroître la confusion.

La numération de 0 à 24 appliquée dans le jour civil impliquerait l'emploi simultané des chiffres de 12 à 24 pour les heures de midi à minuit.

Jusqu'ici, au contraire, les heures chiffrées de 12 à 24 étaient par définition des heures

particulier indiquerait le multiple de 9 *centaines de minutes* d'arc correspondant à chaque heure, et la grande aiguille le nombre (de 1 à 9) des centaines à ajouter pour l heure en cours; une troisième aiguille [effectuant le tour du

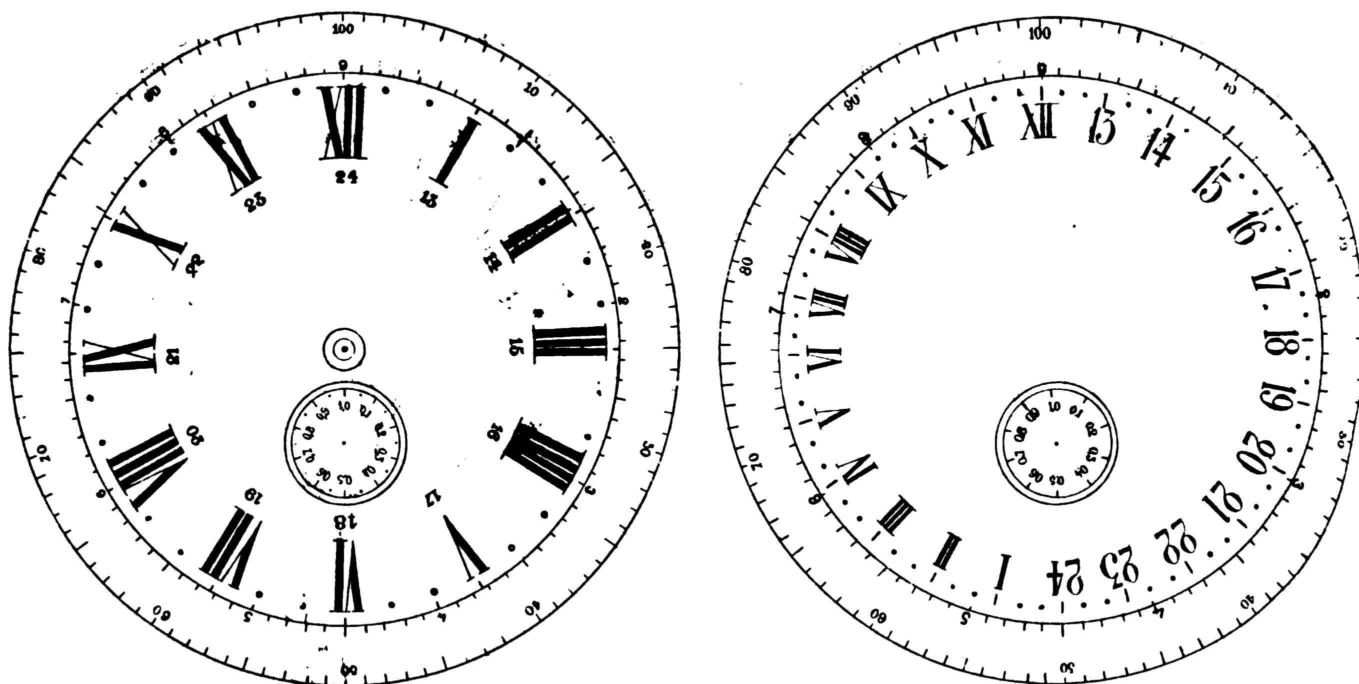


Fig. 7 et 8.

cadran en 100 *minutes* (*d'arc*) ou 400 *secondes*] donnerait sur la division extérieure le nombre de minutes d'arc et une trotteuse excentrée [faisant son tour en 1 *minute* (*d'arc*) ou 4 *secondes*] donnerait les dixièmes de minutes (os. 4) en battant le demi- dixième de minute d'arc soit le cinquième de *seconde* habituel.

(1) Cette question absolument scientifique n'intéresse en rien la dispute internationale du temps français et du temps anglais dont le caractère purement commercial est bon incidemment à préciser.

La divergence de 9 m. 21 s. entre l'heure de Greenwich et le temps de Paris ne complique pas plus les calculs des astronomes et des navigateurs que l'équation du temps vrai et les différences de longitudes; la divergence nationale des cartes et des publications nautiques des deux langues française et anglaise ne donne lieu à aucune ambiguïté.

Au point de vue seulement des chemins de fer et des télégraphes la différence de 9 m. 21 s. intéresse commercialement l'ignorance publique; c'est une question de bourses et de voyageurs de commerce en dehors de tout intérêt scientifique.

Pour obvier à cet inconvénient un avis apparent sur les télégrammes et les indicateurs de chemins de fer et des aiguilles doubles aux pendules des bureaux internationaux suffiraient probablement.

Mieux encore, on pourrait pour vulgariser dans le public la valeur du retard de 9 m. 21 s. de l'heure anglaise porter à cette valeur le retard de l'heure des chemins de fer (qui est actuellement de 5 minutes) et employer au besoin cette heure commerciale comme heure intérieure des gares et des bureaux de poste.

astronomiques — de minuit à midi — et elles se transformaient en temps civil en retranchant 12 et ajoutant un jour à la date.

De quelque pays qu'il soit question, l'origine du temps civil ne peut avoir lieu qu'à minuit ; la coïncidence de date visée ne peut avoir lieu qu'en choisissant pour origine du temps universel et des longitudes le *méridien* où simultanément passe le Soleil, où il est midi.

L'origine du temps universel et des longitudes au méridien antipode de celui réglant le temps civil s'impose en conséquence ; la France ou l'Angleterre peuvent prendre indifféremment l'initiative de conformer leur usage à cette nécessité.

Nous n'avons personnellement à recommander que la solution intéressant notre pays : Au temps civil *de Paris* commençant à minuit correspond le *temps universel du méridien antipode* (180° actuel) où simultanément il est midi. La longitude de Paris rapportée à *ce* méridien est de 108 centaines de minutes (180°) ; en appropriant le système des fuseaux à cette origine, le fuseau initial s'étend à 450 minutes (7° 30′) de part et d'autre et le début du fuseau [211 ; 50′, (172° 30′) actuel] coïncide précisément avec les parages du détroit de Behring où s'opère déjà le saut de date. Autrement dit, Behring fait partie du fuseau origine où s'opère le saut de date.

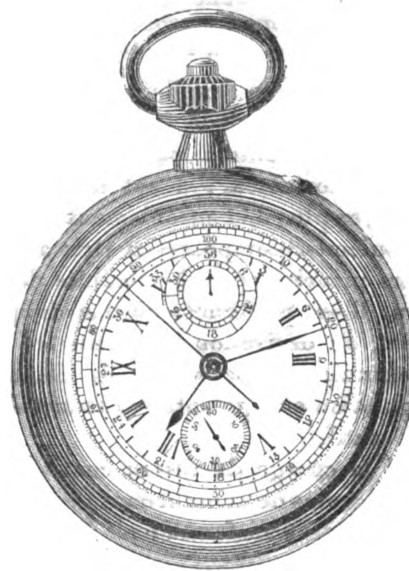


Fig. 9.

Des propositions du genre de celles que nous venons de développer n'ont d'intérêt que si l'on réussit à matérialiser leur application [1]. En vue de cette nécessité nous avons déposé les modèles des divisions du Cadran horaire en centaines de secondes de temps, de la Circonférence en centaines de minutes (d'arc) et nous avons fait appel au concours horloger de la maison Redier, dont la spécialité pour les montres scientifiques est bien connue. Des montres, chronographes et compteurs munis de nos cadrans en centaines de secondes sont dès à présent établis et leur existence garantit notre étude et ses conclusions du caractère idéologue et quelque peu chimérique qu'on pourrait autrement être tenté de lui attribuer.

Emile RAVEROT.

---

[1] L'usage de la centaine de secondes et de la centaine de minutes (d'arc) exigerait une désignation spéciale, des noms pour ces multiples (nouveaux comme emploi) des unités principales ; nous ne l'avons pas faite au cours de notre étude afin de ne pas subordonner l'appréciation de nos propositions à celle des noms eux-mêmes. Nous suggérons seulement à titre de désignations plausibles, la syllabe τίγ pour la *centaine de secondes* (commencement du mot *time* et point γ origine astronomique du temps) et la syllabe ραδ pour la *centaine de minutes* (d'arc) (les trois lettres les plus usuelles pour la désignation des angles qui forment d'ailleurs la première syllabe du mot *radian*, appellation de l'angle droit.

REVUE INDUSTRIELLE ET SCIENTIFIQUE

GÉNÉRATION ET DISTRIBUTION

Système de régulation de l'Union Elektrizitäts-Gesellschaft pour la tension dans les transformateurs de courant alternatif. *Elektrotechnische Rundschau*, 15 août 1901.

Lorsque l'on emploie les transformateurs tournants, on règle habituellement la tension du courant continu par l'excitation du champ du transformateur; à cet effet le champ comporte, en plus de l'enroulement en dérivation, un enroulement compound en série avec les conducteurs principaux de la conduite de courant continu. Il est préférable de n'avoir que l'enroulement de dérivation, et, dans ce cas, l'Union Elektrizitäts-Gesellschaft de Berlin obtient la régulation en agissant sur l'inductance du circuit alternatif.

Si la charge du réseau continu augmente, il passe moins de courant dans l'enroulement d'excitation du transformateur. La chute de la tension continue peut être compensée par une élévation de la tension alternative. Si la conduite du courant alternatif contient une self-induction, le changement de celle-ci provoque un changement de la tension alternative. Il y a deux cas à considérer suivant que le courant alternatif est en avance ou en retard de phase. Si le courant est en avance, un accroissement de la self-induction élève la tension, et inversement s'il est en retard, pour élever la tension, il faut diminuer la self-induction.

Cette avance ou ce retard dépendent de l'excitation du champ du transformateur. Si l'excitation est inférieure à la valeur pour laquelle la force contre-électromotrice est égale à la force électromotrice amenée, le courant alternatif est en retard de phase et inversement. Si l'excitation est supérieure à cette valeur, le courant est en avance de phase. Dans le premier cas, pour les charges croissantes du réseau continu, l'inductance de la conduite alternative diminue; dans le second, elle augmente.

Un dispositif de changement automatique de l'inductance est représenté dans la figure 1. Il se rapporte au cas de la transformation de courants triphasés en courant continu avec courant en retard de phase. c, d, e sont les trois conducteurs des courants alternatifs qui arrivent au transformateur par les bagues r; le courant continu part des balais k par les conducteurs a et b. Le champ S du transformateur est en dérivation. Le régulateur d'inductance w se compose de deux parties f et g mobiles l'une par rapport à l'autre. La partie fixe f est un anneau de fer sur lequel sont disposées 3 bobines c_1, d_1, e_1 sur des saillies équidistantes. Chaque bobine est en série avec l'un des conducteurs triphasés.

La partie mobile g se compose d'un noyau magnétique avec 3 bobines fermées chacune sur elle-même. Sur l'axe w de la partie mobile est un levier h qui porte d'une part le contrepoids n

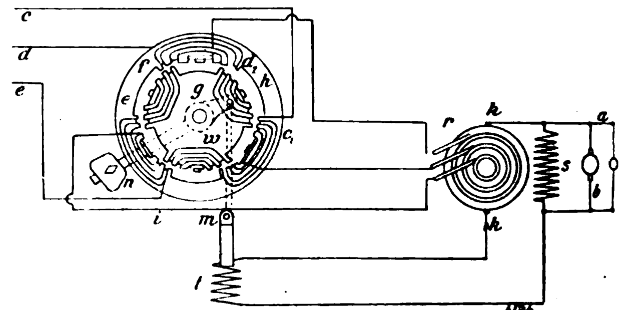


Fig. 1.

et d'autre part une articulation solidaire d'un noyau de fer m. La pièce n sert de contrepoids au noyau m et à la partie mobile, elle est disposée de façon que les bobines occupent les positions représentées sur la figure lorsqu'aucun courant ne traverse les conducteurs. Le noyau m est soumis à l'action d'une bobine t en série avec un des conducteurs principaux du réseau continu.

Lorsque la charge du circuit continu croît, le courant augmente dans la bobine t; le noyau m est attiré et fait tourner la partie mobile d'un certain angle. Les bobines des deux pièces f et g se rapprochent, ce qui diminue la self-induction du circuit alternatif. La tension s'élève du côté alternatif et par suite aussi du côté continu. Les différentes parties peuvent être calculées de façon à obtenir la régulation voulue.

Dans le cas d'un courant en avance de phase, il n'est pas nécessaire d'avoir de liaison avec le circuit continu.

On peut en effet insérer dans chaque conducteur alternatif une bobine auxiliaire au-dessus de laquelle est suspendue une bobine en court-circuit. Ces bobines secondaires sont solidaires d'un levier et maintenues par un contrepoids à une distance déterminée des bobines primaires lorsqu'aucun courant ne passe. Plus le réseau continu est chargé et plus l'intensité du courant alternatif qui traverse les bobines primaires est forte, ce qui attire les bobines secondaires, élève l'inductance des bobines primaires et par suite la tension du côté alternatif.

G. Goisot.

Calcul des réseaux de transport d'énergie par courants continu ou alternatifs, par **Hermann Cahen**, ingénieur. Opuscule paru à Berlin en 1895 (Polytechnische Buchhandlung, A. Seydel, Mohren-Strasse, n° 9) [1].

L'auteur étudie les réseaux établis spécialement pour le transport de la force motrice.

La présence simultanée d'appareils d'éclairage et de moteurs sur un même réseau donne naissance à plusieurs inconvénients : à cause des lampes à incandescence on est obligé de maintenir la tension sensiblement constante en tous les points du réseau, ce qui conduit à de grosses dépenses de cuivre dans l'établissement des canalisations; de plus, le démarrage des moteurs produit des perturbations dans la lumière, surtout dans les distributions à courants alternatifs.

On conçoit donc qu'il puisse y avoir intérêt dans certains cas, pour des installations un peu importantes, à séparer complètement le réseau de force motrice du réseau d'éclairage : on évitera ainsi les perturbations dans l'éclairage dues aux moteurs, et, d'autre part, n'étant plus lié par la nécessité d'une tension constante, on pourra établir le réseau de force motrice d'une façon plus économique.

Etudions d'abord le cas d'un *réseau simple*, c'est-à-dire dans lequel il n'y a pas de conducteurs d'égalisation, chaque centre d'utilisation ne recevant le courant de la station centrale que

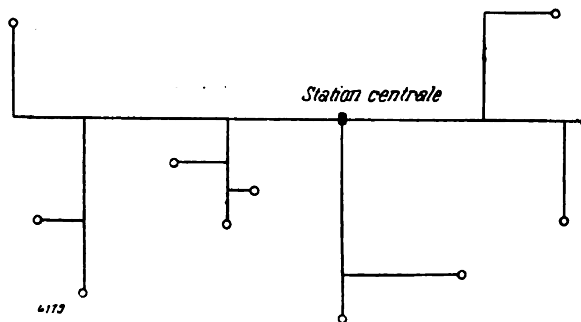


Fig. 1.

par un seul chemin (fig. 1), et supposons que tous les moteurs installés travaillent en même temps et à pleine charge.

Désignons par :

E la tension à la station centrale en volts (tension composée dans le cas de courants polyphasés);

l la longueur simple d'un conducteur entre deux dérivations, en hectomètres;

s la section d'un conducteur en mm²;

J l'intensité efficace en ampères (dans un conducteur);

P le poids de cuivre du réseau;

w la puissance totale perdue dans le réseau (en watts);

ρ la résistance de 1 hectomètre de fil de 1 mm² de section (l'auteur adopte $\rho = 1,67$ ohm);

δ le poids de 1 hectomètre de fil de 1 mm² de section;

cos φ le facteur de puissance à l'usine;

z un facteur égal à 2 en continu ou alternatif simple, et à 3 en triphasé.

Il est facile de démontrer que pour une tension à l'usine E et une perte totale w données, le poids du cuivre sera minimum lorsque la sec-

---

[1] Nous recevons de M. Hermann Cahen, ingénieur à Francfort-sur-le-Mein, la note suivante :

« Je trouve dans votre estimé journal, tome XXV, page 229, une communication de M. Routin, au Congrès international, dans laquelle il établit une loi relative à l'emploi d'une densité de courant constante pour les transports de force.

« Ayant depuis longtemps démontré cette loi et indiqué une méthode simple de calcul des réseaux, je me suis permis d'espérer que vous et vos lecteurs prendriez de l'intérêt à la brochure suivante : *Calcul des réseaux de transport électrique de force motrice, dans les systèmes à courants continu et alternatif.*

« Aussi je vous envoie ce petit travail pour votre bibliothèque, et serais très heureux si vous vouliez bien lui accorder la publicité de votre excellent journal.

« Recevez, etc. »

Nous nous empressons de déférer au désir de M. Hermann Cahen en publiant ici une analyse de ce mémoire, qui présente des considérations fort intéressantes sur le calcul des réseaux.

N. d. l. R.

tion de chaque conducteur sera telle que la densité de courant α soit constante pour tout le réseau [1]. Réciproquement, pour une tension E et un poids de cuivre donnés, la perte du réseau sera minimum, lorsque la densité sera constante.

On peut alors écrire

$$w = \sum \frac{\zeta . \rho l J^2}{s} = \zeta \rho \alpha . \Sigma l J, \qquad (1)$$

$$P = \delta \Sigma \zeta l s = \frac{\zeta \delta}{\alpha} \Sigma l J, \qquad (2)$$

ou

$$P = \frac{\delta}{\rho \alpha^2} w. \qquad (3)$$

Ces trois équations sont applicables, non seulement au réseau total, mais à une fraction quelconque de ce réseau, même à un segment de conducteur.

Si on met l'équation (3) sous la forme

$$\frac{w}{P} = \frac{\rho \alpha^3}{\delta},$$

on voit qu'elle équivaut à cet énoncé.

La quantité de chaleur dégagée par kilogramme de cuivre est constante pour tous les points du réseau : cette quantité de chaleur peut s'appeler *perte spécifique* du réseau.

De même pour la chute de tension : en continu, la chute de tension ε dans un conducteur est

$$\varepsilon = \frac{2 \rho J l}{s} = 2 \alpha \rho l,$$

soit

$$\frac{\varepsilon}{l} = 2 \alpha \rho = \text{constante}.$$

La chute de tension, par unité de longueur, est constante : c'est la chute de tension spécifique.

En courant alternatif, cette loi n'est plus exacte.

Si on désigne par ζ' un facteur égal à 1 pour le monophasé et à $1,73 = \sqrt{3}$ pour le triphasé, pour un réseau comprenant un seul moteur absorbant une puissance $\zeta' E_1 I_1 \cos \varphi_1$, avec une perte admise dans le réseau égale à $\frac{\lambda}{100}$ de la puissance à l'usine, on a

$$\zeta' (EJ \cos \varphi - E_1 J_1 \cos \varphi_1) = \zeta' EJ \cos \varphi . \frac{\lambda}{100} = \zeta \rho \frac{J^2 l}{s},$$

d'où

$$\frac{\lambda}{100} E = \frac{\zeta . \rho J l}{\zeta' s \cos \varphi} = \frac{\zeta \rho \alpha}{\zeta' \cos \varphi} l;$$

d'autre part

$$\frac{\lambda}{100} E = E - E_1 \frac{\cos \varphi_1}{\cos \varphi}.$$

Si on appelle chute apparente de tension la quantité $E - E_1 \frac{\cos \varphi_1}{\cos \varphi}$, on voit que c'est cette chute de tension apparente qui est proportionnelle à la longueur, et suit la loi de la chute de tension en courant continu : nous l'appellerons ε.

Quant à la vraie chute de tension ε_1, elle a pour valeur

$$\varepsilon_1 = \varepsilon \cos^2 \varphi_m,$$

$\cos \varphi_m$ étant intermédiaire entre les valeurs $\cos \varphi$ et $\cos \varphi_1$.

Pour arriver à des formules pratiques, il suffit maintenant de remplacer les intensités par des puissances. Nous substituons aux tensions en chaque point, inconnues, une tension moyenne E_m définie par l'équation

$$W_2 = \zeta' E_m J_1 \cos \varphi,$$

---

[1] Cf. J.-L. Routin, *L'Éclairage Électrique*, t. XXV, p. 229, 10 novembre 1900.

L'auteur donne une démonstration plus simple, mais seulement approchée en négligeant les variations des intensités J avec les sections.

En écartant les systèmes à trois et cinq fils, on a pour la perte totale du réseau

$$w = \sum \frac{\zeta . \rho l J^2}{s},$$

et pour le poids du cuivre

$$P = \delta \Sigma \zeta l s.$$

Pour avoir le minimum de P, différentions les deux équations, il vient

$$0 = \sum \frac{l J^2}{s^2} . ds,$$

$$0 = \Sigma l ds.$$

Multipliant la seconde par la constante α^2, et retranchant membre à membre on obtient

$$0 = \sum \left(\frac{J^2}{s^2} - \alpha^2 \right) l ds,$$

ce qui conduit à la condition, pour le minimum de P,

$$\frac{J}{s} = \alpha = \text{constante}. \qquad \text{C. Q. F. D.}$$

où W_2 désigne la puissance utile sur le réseau en watts, J_1 et $\cos\varphi$ le courant total et le facteur de puissance à l'usine.

Si W_1 représente la puissance totale à l'usine, égale à $\sigma' EJ_1 \cos\varphi$, on a

$$\frac{W_2}{W_1} = 1 - \frac{\lambda}{100},$$

d'où

$$E_m = E\left(1 - \frac{\lambda}{100}\right).$$

L'expression $E\frac{\lambda}{100} = \varepsilon_m = E - E_m$ peut être appelée chute de tension moyenne.

Ceci posé, avec cette approximation, le courant en un point quelconque J peut être remplacé par l'expression

$$J = \frac{W}{\sigma' E_m \cos\varphi},$$

et les équations fondamentales deviennent

$$w = \frac{\sigma\rho\alpha}{\sigma' E_m \cos\varphi}\Sigma lW, \qquad (4)$$

$$P = \frac{\sigma\delta}{\sigma'\alpha E_m \cos\varphi}\Sigma lW, \qquad (5)$$

$$\frac{\varepsilon}{l} = \frac{\sigma\rho\alpha}{\sigma' \cos\varphi}, \qquad (6)$$

avec

$$P = \frac{\delta}{\rho\alpha^2} w, \qquad J = \alpha s.$$

Supposons que les W soient exprimés en kilowatts, et faisons $\rho = 1{,}67$ ohm, $\delta = 0{,}9$ kg, nous obtenons les systèmes d'équations :

1° *Courant continu et alternatif simple.*

$$\left\{\begin{aligned} w &= \frac{\alpha}{0{,}8\, E_m \cos\varphi}\Sigma lW, \\ P &= \frac{1\,800}{\alpha E_m \cos\varphi}\Sigma lW \text{ (en kg)}, \\ \frac{\varepsilon}{l} &= \frac{\alpha}{0{,}3 \cos\varphi}. \end{aligned}\right.$$

2° *Courants triphasés.*

$$\left\{\begin{aligned} w &= \frac{\alpha}{0{,}35\, E_m \cos\varphi}\Sigma lW, \\ P &= \frac{1\,500}{\alpha E_m \cos\varphi}\Sigma lW, \\ \frac{\varepsilon}{l} &= \frac{\alpha}{0{,}35 \cos\varphi}. \end{aligned}\right.$$

et dans tous les cas

$$P = 540\frac{w}{\alpha^2}.$$

Dans l'équation (4) divisons les deux membres par W_2, nous obtenons

$$\frac{\lambda}{100}E = \frac{\sigma\rho\alpha}{\sigma' \cos\varphi}\cdot\frac{\Sigma lW}{W_2}. \qquad (7)$$

Or, la quantité $l_m = \frac{\Sigma lW}{W_2}$ peut être appelée la longueur moyenne du réseau ; par comparaison avec (6), il vient

$$\varepsilon = \frac{\lambda E}{100}\frac{l}{l_m} = \varepsilon_m \frac{l}{l_m},$$

ce qui veut dire que la longueur moyenne est la distance de l'usine du point où la tension est égale à la tension moyenne.

Si on admet que les rendements des moteurs sont sensiblement égaux, en désignant par γ leur valeur moyenne, on peut substituer dans l'équation (7) les puissances effectives en chevaux, aux puissances absorbées en kilowatts, en tenant compte du facteur γ, et calculer la longueur moyenne par l'expression

$$\frac{\Sigma lN}{N_2},$$

où N est la puissance transportée par un conducteur, et N_2 la puissance effective totale des moteurs du réseau, le tout en chevaux ; on a

$$\gamma = \frac{0{,}736\, N_2}{W_2}.$$

On aura alors, après transformation, les équations

$$P = \frac{400\, n}{\alpha^2\gamma}, \qquad (8)$$

$$s = \frac{N}{\alpha_1}, \qquad (9)$$

où n désigne la perte du réseau en chevaux, α_1 la puissance effective transportée par millimètre carré de conducteur.

On n'aura aucun besoin de calculer les courants, sauf pour vérifier à la fin que les densités de courant ne sont pas dangereuses.

Reste une dernière équation :

$$\left.\begin{array}{ll}\text{continu et monophasé} & \frac{\lambda}{100}\,E = \frac{\alpha}{0{,}3\cos\varphi}\,l_m, \\ \text{triphasé} & \frac{\lambda}{100}\,E = \frac{\alpha}{0{,}35\cos\varphi}\,l_m,\end{array}\right\} \quad (10)$$

d'où la règle :

Si on substitue au réseau un conducteur unique de section constante, ayant pour longueur la longueur moyenne du réseau, pour poids le poids de cuivre du réseau, et si on suppose toute la puissance effective concentrée à son extrémité, la perte et la puissance transportée par millimètre carré, sont les mêmes pour ce conducteur que pour le réseau.

Remarque. — Dans la pratique, on ne modifie pas la section des conducteurs à chaque dérivation, mais on cherche au contraire à employer peu de sections différentes dans le réseau. On peut dans ce but opérer de deux façons : ou bien dans le calcul, pour des segments $l_1, l_2, \ldots l_n$ de même section remplacer l'expression

$$J = \alpha s,$$

par

$$\frac{1}{\sqrt{l}}\sqrt{J_1^2 l_1 + J_2^2 l_2 + \ldots\ldots + J_n^2 l_n} = \alpha s,$$

ou, ce qui est plus simple, calculer les sections comme précédemment et adopter une section uniforme égale à la valeur moyenne, pour un ensemble de sections peu différentes les unes des autres, en négligeant les faibles erreurs qui en résultent.

L'auteur donne deux exemples, qu'il est inutile de développer ici, l'application pratique de ces règles ne souffrant pas de difficultés.

Si on considère maintenant un réseau quelconque, pourvu de conducteurs d'égalisation, la règle de la densité constante n'est plus applicable en général. En effet, dans un réseau où la densité de courant est constante, la tension est la même en tous les points équidistants de l'usine ; par suite, si un centre quelconque d'utilisation reçoit du courant de l'usine par deux ou plusieurs chemins, il faut que ces différents chemins soient égaux, condition qui n'est pas réalisée en général.

Dans le cas particulier où elle est réalisée par tous les centres d'utilisation, il est facile de démontrer que la règle des réseaux simples est applicable.

A un poids de cuivre donné, correspond une perte du réseau minimum, et réciproquement, lorsque la densité de courant est constante dans tout le réseau.

Dans le cas d'un réseau quelconque, on cherchera à transformer ce réseau en un réseau satisfaisant à la condition ci-dessus, par de petites modifications, soit en changeant la longueur des conducteurs ou la place des centres d'utilisation, soit en supprimant quelques conducteurs ; puis on appliquera la règle de la densité constante au réseau modifié, et on prendra pour sections du réseau vrai, les sections ainsi déterminées, ce qui donnera dans beaucoup de cas une solution suffisamment approchée.

Le principe de la densité constante ne s'applique évidemment pas aux conducteurs d'alimentation ou feeders, qui ont pour but de maintenir la tension constante à leurs extrémités, et présentent forcément des densités différentes s'ils sont de longueurs différentes.

Le système bien connu de Herzog, pour l'étude des réseaux à mailles quelconques, fondé sur la coupure fictive des conducteurs en des points convenablement choisis, est applicable évidemment, aussi bien aux réseaux de force motrice qu'aux réseaux de lumière.

On peut d'ailleurs le combiner avec la méthode de réduction à des réseaux simples, à laquelle il ressemble beaucoup.

Soit par exemple à étudier le réseau de la

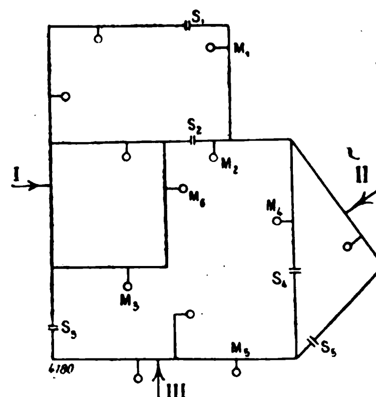


Fig. 2.

figure 2, où I, II et III sont des centres de distribution supposés à la même tension : nous supprimons le conducteur compris entre M_3 et M_6, et coupons les conducteurs aux points M_1, M_2, M_3, M_4 et M_5, ce qui nous donne trois réseaux

simples (fig. 3), auxquels nous appliquons les formules données plus haut; puis nous calculons

$$\Sigma l W = \Sigma_1 l W + \Sigma_2 l W + \Sigma_3 l W,$$

la longueur moyenne étant déterminée par l'égalité :

$$l_m = \frac{\Sigma l W}{W_2}.$$

Cela fait on en déduit (voir les formules citées plus haut) x ou x_1, et P, et par suite les sections cherchées ; on donne alors au jugé une dimension convenable au conducteur supprimé pendant le calcul.

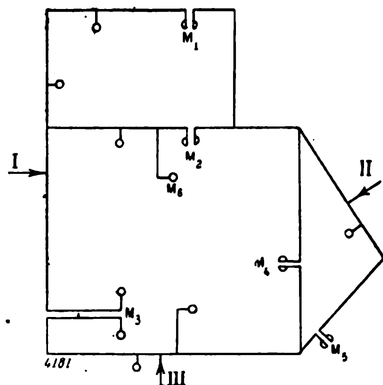


Fig. 3.

Remarque. — Dans les réseaux d'éclairage électrique, ce n'est plus une perte du réseau qui est fixée, mais une chute de tension maximum à ne pas dépasser. Herzog et Feldmann [1] ont démontré que pour réaliser la condition du poids de cuivre minimum, il fallait alors que l'on ait aux points de croisement

$$\Sigma \frac{s^2}{J} = 0$$

et pour un conducteur à prises de courant multiples, auquel le courant n'arrive que par deux chemins en un point de jonction,

$$\frac{s^2}{J} = \text{constante}.$$

Il s'introduit alors dans ces réseaux une autre notion, la *longueur fictive* d'un conducteur, définie par

$$L = \sqrt{\frac{\Sigma lJ}{\Sigma J}}.$$

Si on compare les conditions correspondant au poids de cuivre minimum dans les deux sortes de réseaux, on observe que :

Dans un réseau d'éclairage on obtient ce poids de cuivre minimum, en reliant chaque centre d'utilisation à l'usine par un conducteur unique et distinct, de section telle que la chute de tension y soit égale à la chute de tension maximum admise.

Dans un réseau de force motrice, on donne au contraire à ces conducteurs distincts une section telle que la densité de courant y soit constante, et par suite on peut, sans rien changer, réunir ensemble les conducteurs marchant parallèlement.

On ne peut en faire autant dans les réseaux d'éclairage, car on arriverait alors à dépasser en certains points la chute de tension admise, tandis qu'elle serait diminuée en d'autres points.

L'auteur termine cette étude par le cas d'un réseau simple dans lequel les moteurs ne travaillent plus tous ensemble à pleine charge.

Dans ce cas soient $J_1 J_2 \ldots J_n$ les valeurs des intensités pendant les temps $t_1 t_2 \ldots t_n$ heures d'une journée de t heures, dans un conducteur.

La perte journalière dans ce conducteur est

$$(J_1^2 t_1 + J_2^2 t_2 + \ldots\ldots + J_n^2 t_n) \frac{z\rho l}{s},$$

et la valeur moyenne de la perte w

$$w = \frac{J_1^2 t_1 + \ldots\ldots + J^{n2} t^n}{t} \cdot \frac{z\rho l}{s}.$$

Désignons le premier facteur par M (J²), appliquons la même méthode qu'au début de cette notice, et nous arrivons à

$$x = \frac{\sqrt{M(J^2)}}{s} \quad \text{ou} \quad x_1 = \frac{\sqrt{M(N^2)}}{s},$$

avec une approximation suffisante.

D'ailleurs les courants J_1 etc., n'étant connus qu'assez grossièrement, nous pouvons simplifier les calculs en remplaçant $M(J^2)$ par $[M(J)]^2$.

*****

[1] Voir Herzog et Feldmann, Détermination théorique et pratique d'un réseau d'éclairage.

où

$$M(J) = \frac{J_1 t_1 + J_2 t_2 + \ldots\ldots + J_n t_n}{t},$$

d'où alors la formule

$$\alpha = \frac{M(J)}{s},$$

ou

$$\alpha_1 = \frac{M(N)}{s}.$$

Il faudra évidemment vérifier que pour la charge maximum du réseau, α n'atteint pas une valeur dangereuse.

A. Mauduit.

MOTEURS

Dispositif Luc Court et Cie pour la mise en court-circuit automatique de l'induit des moteurs asynchrones triphasés. — Communiqué par les constructeurs.

Des bagues concentriques et verticales *a*, *b*, *c*, (fig. 1 et 2) isolées entre elles électriquement, sont fixées sur un support S dans lequel passe l'arbre du moteur ; ce support tourne avec l'arbre tout en ayant la possibilité de se déplacer longitudinalement ; aux trois bagues sont soudées les extrémités des trois enroulements de l'induit.

Des balais 1, 2, 3 fixes, sur lesquels est branché le rhéostat de démarrage, reposent à l'arrêt sur leurs bagues respectives. Un régulateur *r* à force centrifuge déplace le support des bagues dans le sens de la flèche quand la vitesse angulaire du moteur approche de sa valeur normale. Lorsque cette vitesse est atteinte, les bagues enfoncent des coins, venus de fonte avec elles, dans des contacts élastiques d'une seule pièce qui opèrent la mise en court-circuit de l'induit : en même temps les extrémités des balais, qui, en raison de leur élasticité, ont accompagné les bagues dans la presque totalité de leur course, ne touchent plus celles-ci.

Quand on coupe le circuit primaire pour arrêter le moteur, la force centrifuge diminue et deux ressorts ramènent les bagues au contact avec les balais ; les enroulements induits se trouvent donc de nouveau connectés avec le rhéostat.

Pour les moteurs de forte puissance, l'appareil, au lieu d'être placé en bout de l'arbre, est logé à l'intérieur de la carcasse, entre le palier et le rotor (fig. 4 et 5) ; les balais, disposés sur le palier, vers l'intérieur, sont parfaitement

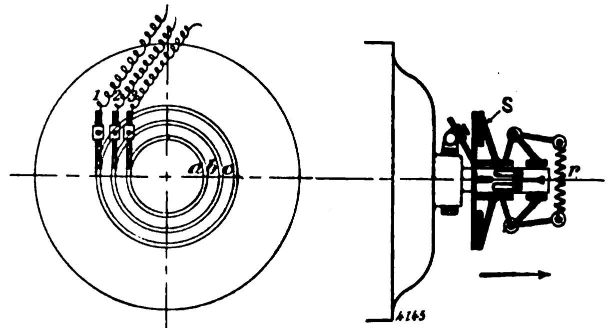


Fig. 1 et 2. — Dispositif Luc-Court et Cie.

visibles ; les bagues s'écartent d'eux en se dirigeant vers le rotor, comme l'indique la flèche, lorsque la vitesse a atteint sa valeur normale ; la mise en court-circuit de l'induit s'opère alors.

La maison Luc Court et Cie, de Lyon, qui adapte ce dispositif à tous les moteurs qu'elle construit, revendique en sa faveur divers avantages dont les principaux sont les suivants :

1° Suppression automatique des balais et

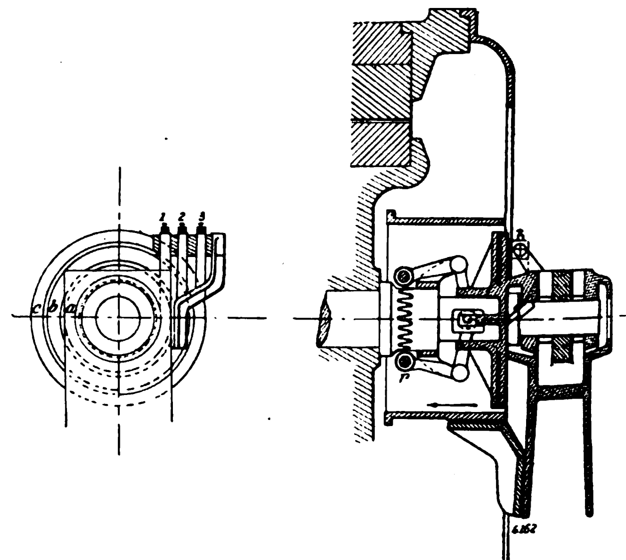


Fig. 3 et 4. — Variante pour moteurs puissants.

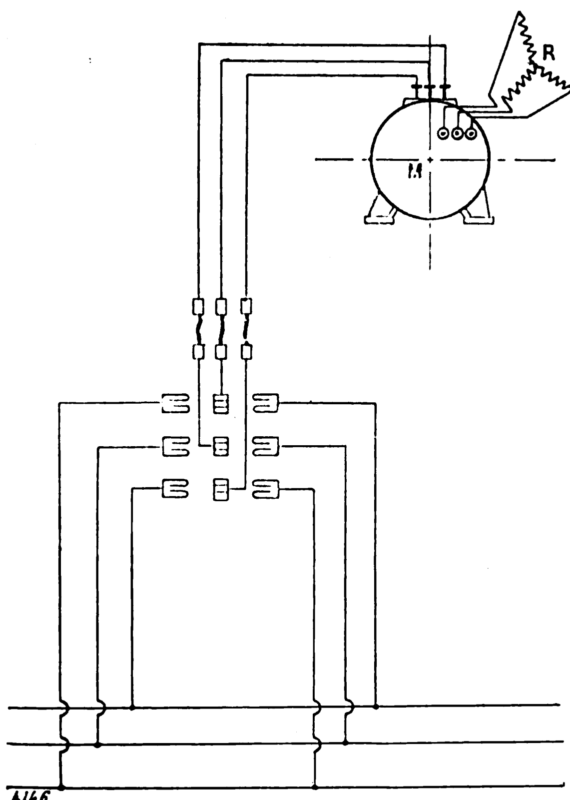
comme conséquences : pas d'entretien, pas d'usure des bagues ni des frotteurs qui n'entrent en jeu qu'au démarrage.

2° Glissement réduit au minimum, rendement et facteur de puissance augmentés, par

suite de la suppression des résistances des câbles de connexion de l'induit au rhéostat et des contacts ainsi que ceux des balais sur les bagues, des brosses sur les plots du démarreur.

3° On peut mettre le moteur en marche à distance. S'il s'agit d'un moteur de faible puissance, on n'a besoin que de fermer un interrupteur, (qui peut être à deux directions pour la marche dans les deux sens, fig. 5) et de laisser, au démarrage, une faible résistance fixe qui est supprimée automatiquement, sitôt la vitesse normale atteinte. Dans ce cas, la résistance R se trouvera à côté du moteur.

Si le moteur est de puissance telle qu'il nécessite un démarrage progressif afin d'éviter les à-coups sur la ligne primaire, en plus des trois



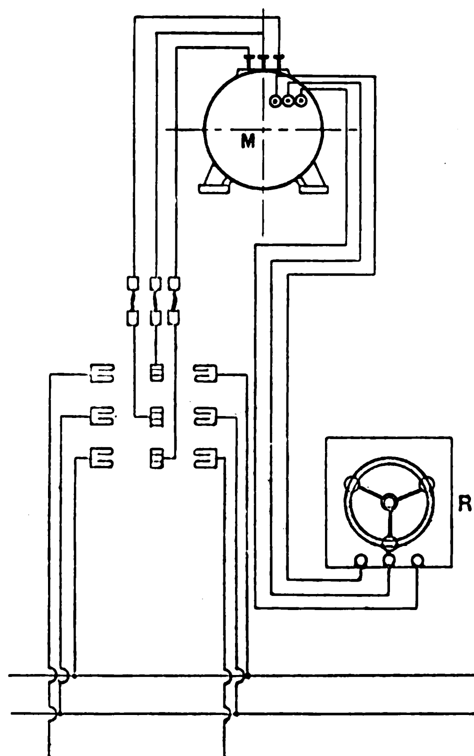


Fig. 5 et 6. — Connexions pour la mise en marche à distance.

fils de ligne, on pose trois conducteurs (fig. 6) venant de l'induit, c'est-à-dire des trois balais; leurs extrémités sont reliées au rhéostat de mise en marche R placé près de l'interrupteur, et composé d'une résistance sectionnée qu'on supprime progressivement. Le moteur, lorsqu'il atteint sa vitesse normale, met lui-même hors circuit le rhéostat, la ligne et les balais. Dans ces conditions, on peut admettre une forte densité de courant dans les câbles ou fils secondaires, puisqu'ils ne servent qu'un instant.

Grâce à ce dispositif, on n'est donc plus limité dans l'application des moteurs à courants alternatifs qui peuvent être placés dans des endroits difficilement accessibles, tels que fosses, plafonds, charpentes, etc. En outre, par suite de sa robustesse et de son mode de fonctionnement, la mise en marche peut être faite par l'ouvrier le plus inexpérimenté et sans crainte de fausse manœuvre, telles que mettre le courant primaire alors que l'induit est en court-circuit, etc.

J. Reyval

Dispositif Siemens et Halske pour le démarrage et l'arrêt des moteurs à courant continu, *Elektrotechnische Rundschau*, t. XVIII, p. 212, 15 juillet 1901.

Dans beaucoup de machines fonctionnant par l'électricité (locomotives, appareils de levage, etc.) on détruit, au moment de l'arrêt, la force

vive de la masse en mouvement en fermant le circuit de l'électromoteur sur une résistance; celui-ci travaille alors comme générateur. L'action de ce frein est d'autant plus énergique que la résistance est plus faible.

La disposition habituellement employée (fig. 1)

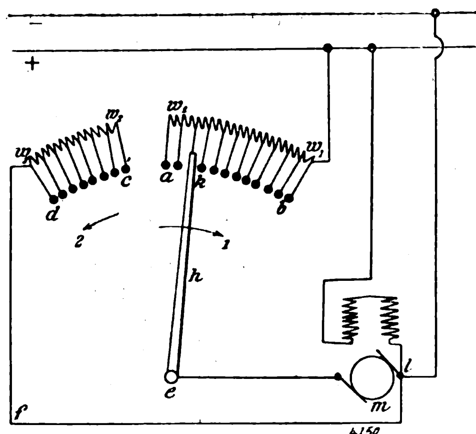


Fig. 1.

consiste à manœuvrer le commutateur *h* sur deux séries de plots consécutives, correspondant l'une *a b* au démarrage, l'autre *c d* à l'arrêt. La résistance *w* sert au démarrage lorsque l'on déplace le levier de *a* vers *b*; à l'arrêt le circuit induit du moteur *m* est fermé sur la résistance w_2 que l'on diminue en déplaçant le levier *h* de *c* vers *d*. Entre les deux résistances est une interruption *ca*.

Cette disposition a des inconvénients, principalement pour les grands appareils de levage, telles que les machines élévatoires de mines, pour le réglage à petite vitesse lorsque la charge est faible, ou lorsque la charge varie pendant la marche. La manœuvre est particulièrement délicate au moment où l'on passe par l'interruption *c a*. Pour éviter cet inconvénient, Siemens et Halske préconisent l'emploi de la disposition représentée par la figure 2.

Les deux séries de plots sur lesquels glisse le commutateur ne sont pas séparées par un intervalle neutre, elles empiètent l'une sur l'autre et le frotteur passe de la position spéciale de démarrage *c b* à la position d'arrêt *a d* par la région intermédiaire *a c* pour laquelle il est en contact simultanément avec un plot de la résistance de démarrage w_1, et un de la résistance de frein w_2.

Pendant cette période le courant du réseau est séparé en deux parties dont l'une traverse le moteur tandis que l'autre traverse la résistance de frein. Si l'on ne déplace pas le commutateur, ce dernier courant est à peine altéré par les oscillations de la charge. Pour les faibles charges c'est-à-dire les faibles intensités du courant du moteur, c'est cependant lui qui absorbe la partie principale de la tension fournie au moteur tandis que la partie correspondant à ce dernier ne joue qu'un faible rôle. Contrairement à ce qui a lieu avec l'ancienne disposition, on peut pour les faibles charges atteindre une faible vitesse de rotation sans grande dépense dans les résistances. Pour les

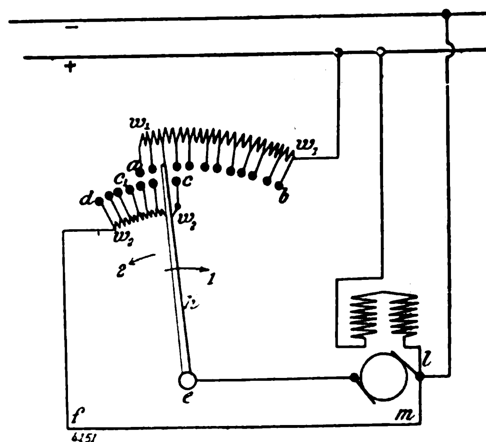


Fig. 2.

changements de la charge, la grandeur nécessaire de la résistance auxiliaire n'est pas considérable, ce qui simplifie la distribution. Mais l'avantage de la nouvelle disposition réside surtout dans la suppression de la rupture du circuit du moteur.

G. Coisot.

Frein pour moteurs shunt, système de la A.-G. Elektrizitætswerke à Niedersedlitz. *Elektrotechnische Rundschau*, t. XVIII, p. 250, 1er septembre 1901.

Le freinage des moteurs-shunt est obtenu habituellement en mettant l'induit en court-circuit et en maintenant l'excitation du champ. Ce procédé a l'inconvénient de nécessiter une consommation relativement considérable de courant.

Le dispositif de la A.-G. Elektrizitätswerke à

Niedersedlitz permet de mettre hors circuit l'enroulement inducteur pour le freinage du moteur. La force électromotrice de self-induction produite par la rupture du circuit inducteur est utilisée pour induire le courant de frein dans l'induit en court-circuit.

Le procédé est représenté par la figure 1 ; *a*,

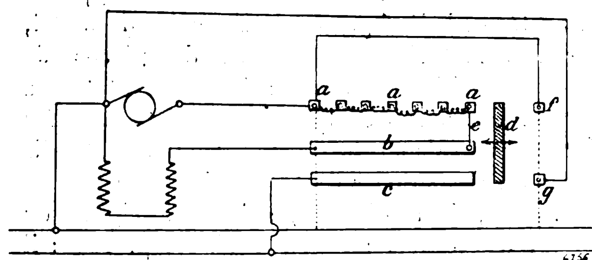


Fig. 1.

b et *c* sont les plots, *d* la pièce de contact qui doit être déplacée vers la gauche pour produire la mise en marche ordinaire. La mise hors circuit est produite en déplaçant alors le contact *d* vers la droite, les résistances *a* sont d'abord insérées dans le circuit de l'induit, puis la mise hors circuit est complète lorsque *d* quitte *c*; le circuit comprenant l'induit, l'inducteur et les résistances de démarrage est fermé par la liaison *e* à la manière habituelle. Le moteur tournant en génératrice s'excite lui-même.

En continuant le déplacement de *d* vers la droite, on établit la liaison *fg* et l'on obtient

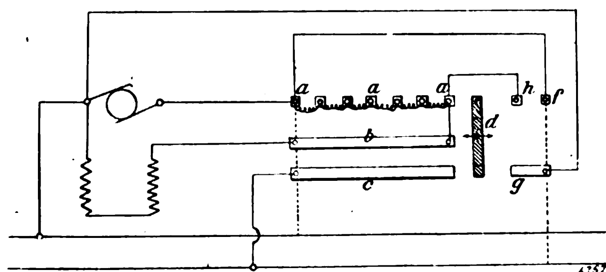


Fig. 2.

ainsi une force de frein considérable : l'induit est alors fermé sur lui-même, tandis que le circuit inducteur contient les résistances *a*. L'extra-courant de l'enroulement inducteur produit l'excitation du moteur.

Pour montrer que l'action est bien produite par l'aimantation due à l'extra-courant on a recours au dispositif de la figure 2. Si *d* est poussé rapidement sur *fg* on observe l'action précédente; mais si le contact s'arrête en *hg* pendant un temps très court l'action n'a plus lieu. Dans cette position l'inducteur est en court-circuit et l'extra-courant circule sans utilité, l'aimantation n'a plus lieu lorsque le contact ferme l'interruption *fg*. G. Coisot.

MAGNÉTISME

Formule relative à l'induction magnétique, par **E. Müllendorf,** ingénieur, *Elektrotechnische Zeitschrift*. t. XXII, p. 925, 7 novembre 1901.

Si on considère un morceau de fer ou de tout autre métal magnétique placé dans un champ uniforme $\mathcal{H}$, on sait que l'induction dans le fer est égale à

$$\mathcal{B} = \mathcal{H} + Z.$$

Dans cette expression, Z est une fonction de $\mathcal{H}$, dont la nature peut être déterminée par une série de mesures convenables, et dont la représentation graphique est donnée par les courbes de magnétisme. Les formules empiriques données jusqu'ici pour représenter $\mathcal{B}$ en fonction de $\mathcal{H}$, ne sont applicables que dans des intervalles relativement petits : l'auteur s'est proposé d'établir une formule conduisant à des résultats suffisamment concordants avec ceux de la pratique, pour des valeurs de $\mathcal{H}$ allant de 0 à $+\infty$.

On sait que Z ne croît pas indéfiniment avec $\mathcal{H}$, mais tend rapidement vers une limite que nous désignerons par A. Posons

$$v = \frac{A}{A - Z}.$$

Ce rapport est égal à 1, tant qu'il n'y a pas de force magnétisante, et à mesure que $\mathcal{H}$ croît, il tend vers $+\infty$.

Tout d'abord la force coercitive du métal s'oppose à l'accroissement de v, mais cette force coercitive diminue à mesure que $\mathcal{H}$ augmente, et on peut supposer que cet accroissement de v est proportionnel à l'expression $\mathcal{H}^p$; d'autre part, à mesure que v s'accroît, le métal se sature, et cette saturation s'oppose à l'accroissement qui peut être considéré comme inversement proportionnel à une puissance de v, soit v^q. D'où finalement l'équation différentielle :

$$dv = \frac{k^{p+1}\,\mathcal{H}^p\,d\mathcal{H}}{v^q},$$

k étant une constante propre à chaque substance et possédant les dimensions $L^{\frac{1}{2}} M^{-\frac{1}{2}} T$.

Si on suppose que le métal ne possède pas de magnétisme rémanent, c'est-à-dire que pour $\mathcal{H} = 0$, $\nu = 1$, on obtient en intégrant :

$$\nu^{q+1} = 1 + \frac{q+1}{p+1} k^{p+1} \mathcal{H}^{p+1},$$

ou en posant pour simplifier

$$p + 1 = m$$

$$\frac{1}{q+1} = n,$$

$$\mathfrak{B} = A \left[1 - \frac{1}{\left(1 + \frac{k^m}{mn} \mathcal{H}^m\right)^n} \right] + \mathcal{H}. \qquad (1)$$

On peut mettre cette expression sous une autre forme en remplaçant $\mathcal{H}$ par $\alpha \mathcal{J}$, $\mathcal{J}$ désignant des ampères-tours par centimètre et α un facteur dépendant de la nature du circuit magnétique et de la forme des bobines.

On obtient alors

$$\mathfrak{B} = A \left[1 - \frac{1}{\left(1 + \frac{k^m \alpha^m}{mn} \mathcal{J}^m\right)^n} \right] + \alpha \mathcal{J}. \qquad (2)$$

Ces deux courbes présentent une asymptote ; elles passent par l'origine des coordonnées, et y admettent une tangente parallèle à l'asymptote : elles offrent la forme connue de la courbe du magnétisme : elles partent, convexes d'abord, vers l'axe des $\mathcal{H}$, puis ont un point inflexion, et sont ensuite concaves, se rapprochant indéfiniment d'une droite qui est l'asymptote.

Reste à vérifier expérimentalement cette formule, en calculant les constantes d'après les essais, et construisant par le calcul, à l'aide de la formule, une table qu'on comparera avec les chiffres résultant des essais.

Si on désigne par $\mathfrak{B}_1$ et $\mathcal{J}_1$, les coordonnées du point d'inflexion, il est facile de voir que l'on a : (β_1 désignant le coefficient angulaire de la tangente d'inflexion)

$$\left(\frac{mn+m}{mn+1}\right)^m = \frac{A}{A - \mathfrak{B}_1 + \alpha \mathcal{J}_1} \qquad (3)$$

$$\frac{n(m-1)}{n+1} = \frac{\mathcal{J}_1 (\beta_1 - \alpha)}{A - \mathfrak{B}_1 + \alpha \mathcal{J}_1} \qquad (4)$$

$$\frac{(\alpha k)^m}{mn} = \frac{m-1}{\mathcal{J}_1 (mn+n)} \qquad (5)$$

Pour déterminer les constantes, l'auteur s'est servi des essais consignés dans l'*Almanach des Electriciens de Uppenborn*, année 1901, p. 61, sous forme d'une table des forces magnétomotrices avec les inductions correspondantes, et d'une courbe représentant graphiquement cette table. Ces essais ont été exécutés par M. le professeur Robert M. Friese, à Nüremberg, par le procédé du balistique et de l'anneau de métal, sur des matériaux provenant de pièces de grosses machines dynamos : l'expérimentateur a obtenu des nombres très concordants pour les différents essais au-dessus de $\mathfrak{B} = 15\,000$, tandis que pour des valeurs de l'induction entre 9 000 et 15 000, il a observé, suivant l'origine du métal, des écarts allant jusqu'à 30 p. 100 : il estime d'ailleurs que l'erreur relative commise dans ses essais est d'environ 1 p. 100.

Les courbes ne sont pas suffisantes pour donner l'équation de l'asymptote ou même sa direction : mais on peut en déduire la direction de la tangente d'inflexion, et même les coordonnées du point d'inflexion en recourant au calcul avec une échelle très augmentée pour les $\mathcal{J}$: l'approximation obtenue est bien suffisante. D'autre part α et $\mathcal{J}$ étant très petits par rapport à A, $\mathfrak{B}_1$ et β_1, on peut simplifier ainsi les équations 3 et 4.

$$\left(\frac{mn+m}{mn+1}\right)^m = \frac{A}{A - B_1} \qquad (3^a)$$

$$\frac{n(m-1)}{n+1} = \frac{\beta_1 \mathcal{J}_1}{A - \mathfrak{B}_1} \qquad (4^a)$$

On obtient alors pour le fer forgé allemand (table I de l'Almanach cité plus haut) :

$$\mathcal{J}_1 = 2{,}2,$$
$$\mathfrak{B}_1 = 3\,000,$$
$$\beta_1 = 2\,000,$$

avec $A = 16\,000$ comme première approximation.

On ne peut calculer m et n en se servant alors de (3^a) et (4^a), car une erreur de 1 p. 100 sur le membre de droite, amène une modification de 400 p. 100 dans les valeurs de m et n.

Faisons alors arbitrairement $m = 2$ (nous savons que m doit être > 1), portons dans (3^a) et (4^a), et éliminons A. Nous obtenons

$$\frac{n+1}{n} \left[\left(\frac{2n+2}{2n+1}\right)^n - 1 \right] = \frac{\mathfrak{B}_1 - \alpha \mathcal{J}_1}{\mathcal{J}_1 (\beta_1 - \alpha)} = \frac{15}{22}.$$

en négligeant $\alpha \mathcal{F}_1$, d'où l'on tire sensiblement

$$n = \frac{1}{2}.$$

De (5) on déduit,

$$\frac{(\alpha k)^m}{mn} = \frac{1}{2\mathcal{F}_1^2} = 0,1.$$

En introduisant ces valeurs approchées et la valeur $m = 2$ dans l'équation (2), on obtient, en se servant des nombres de la table, un certain nombre d'équations linéaires en A et α, qui permettent de déterminer ces deux quantités. On trouve

$$A = 16\,870,$$
$$\alpha = 8,2.$$

La formule empirique des fers forgés allemands peut donc être mise sous la forme

$$\mathfrak{B} = 16\,870 \left(1 - \frac{1}{\sqrt{1 + 0,1\,\mathcal{F}^2}}\right) + 3,2\,\mathcal{F}.$$

La table I montre que la coïncidence entre le calcul et les essais est très satisfaisante : l'erreur du premier nombre est explicable par le peu de précision avec lequel est connue $\mathcal{F}_1$;

De même dans la table II, où l'on a inversement calculé les forces magnétomotrices $\mathcal{F}$ en fonction des inductions, prises comme variables indépendantes.

L'auteur a étudié ensuite la fonte. Les essais, sur lesquels il s'est basé, sont compris entre $\mathfrak{B} = 4\,000$ et $\mathfrak{B} = 11\,000$. Dans ce cas le point d'inflexion est déjà dépassé, et la direction de l'asymptote n'est pas encore définie, on ne peut donc appliquer la méthode précédente. Si on pose arbitrairement, $m = 2$ $n = 1/2$, on obtient

$$\mathfrak{B} = 6\,500 \left(1 - \frac{1}{\sqrt{1 + 0,3\,\mathcal{F}^2}}\right) + 25\,\mathcal{F}.$$

formule qui conduit à la table III, sur laquelle on constate que les erreurs sont considérables pour des valeurs élevées de l'induction.

Après des tâtonnements, l'auteur a trouvé que les valeurs convenables étaient :

$$m = 2,3;\ n = \frac{1}{2};\ \frac{(\alpha k)^m}{mn} = 0,2;\ A = 16\,000;\ \alpha = 12,5,$$

d'où la formule

$$\mathfrak{B} = 16\,000 \left(1 - \frac{1}{\sqrt{1 + 0,2\,\mathcal{F}^{2,3}}}\right) + 12,5\,\mathcal{F},$$

formule dont la table de concordance est la table IV.

Le chiffre 4 330 observé a été trouvé très en dehors de la courbe d'essai ; la valeur corrigée, prise sur la courbe, coïncidait avec le calcul.

L'auteur a appliqué sa méthode à un dernier exemple, concernant une série d'essais sur de l'acier très dur, prise dans l'ouvrage de Thompson « Machines dynamo-électriques, édition 1900 ». La courbe représentant $\mathfrak{B}$ en fonction de $\mathcal{H}$ ($\mathcal{H} = \alpha \mathcal{F}$), ne s'étend que depuis l'origine aux abords du point d'inflexion, dont les coordonnées sont

$$\mathcal{H}_1 = 50\,; \quad \mathfrak{B}_1 = 9\,300.$$

En faisant arbitrairement $m = 2$, $n = 1/2$, on obtient approximativement

$$\frac{k^m}{mn} = 0,0002$$

et

$$A = 50\,000,$$

d'où la formule

$$\mathfrak{B} = 50\,000 \left(1 - \frac{1}{\sqrt{1 + 0,0002\,\mathcal{H}^2}}\right) + \mathcal{H};$$

et la table V montre la concordance entre l'observation et le calcul [1].

---

[1] D'autres formules peuvent être proposées pour représenter la loi de variation de $\mathfrak{B}$ en fonction de $\mathcal{H}$ ou $\mathcal{F}$.

L'auteur en a établi une autre en particulier, en raisonnant comme suit :

Posons

$$u = \frac{A}{Z}.$$

Ce quotient est infini, tant qu'il n'y a pas d'action magnétisante, et dans tout autre cas, il possède une valeur finie. Quand $\mathcal{H}$ croît, u tend vers la valeur 1. Un accroissement de $\mathcal{H}$ amène une diminution de u, donc $\frac{du}{d\mathcal{H}} < 0$.

Les mêmes raisons qui contribuaient à l'accroissement ou à l'affaiblissement de v, dans la formule déjà étudiée, subsistent telles quelles, pour la fonction u, on peut donc écrire l'équation différentielle

$$du = -\frac{u^v\, d\mathcal{H}}{c^{s-1}\,\mathcal{H}^s},$$

où c est une constante de même dimension que k.

Pour $\mathcal{H} = \infty$, $u = 1$; pour $\mathcal{H} = 0$, $u = \infty$, s est ≥ 1, ce qui nécessite $v = 1$ et l'intégration donne

$$\mathfrak{B} = a\, e^{\frac{1}{s-1}\left(\frac{1}{cH}\right)^{(s-1)}} + \mathcal{H}.$$

Nous n'insisterons pas sur cette seconde formule,

Pour terminer, voyons ce que devient la formule, dans le cas où il existe du magnétisme rémanent. La courbe ne passe plus par l'origine des coordonnées.

L'équation différentielle fondamentale devient :

$$d\nu = \frac{k^{p+1}(\mathcal{H} \pm h)^p}{\nu^2} d\mathcal{H}.$$

Intégrons, en remarquant que pour $\mathcal{H} = o$, $\nu = \nu_0$ nous obtenons

$$\mathfrak{B} = A\left[1 - \frac{1}{[\lambda + \mu(\mathcal{H} \pm h)^m]^n}\right] + \mathcal{H}, \qquad (6)$$

en posant pour abréger :

$$\lambda = \nu_0^{\frac{1}{n}} - \frac{k^m(\pm h)^m}{mn}$$

$$\mu = \frac{k^m}{mn}.$$

Dans cette formule, il faut prendre les signes + ou —, suivant que le magnétisme rémanent est dans le même sens ou en sens inverse, par rapport à $\mathcal{H}$.

Resterait à vérifier expérimentalement la valeur de cette formule généralisée.

A. M.

Contribution à la théorie de l'induction magnétique dans le fer et autres métaux, par **John Buchanan**. *Phil. Mag.* [VI], t. II, p. 456, novembre 1901.

Nous avons déjà eu l'occasion d'analyser une très intéressante note de l'auteur, sur le même sujet, dans le numéro du 17 août 1901. Nous nous permettrons donc de renvoyer le lecteur à cette analyse pour ne pas être obligé de transcrire toutes les équations figurant dans cette dernière et dont nous aurons besoin dans le courant de la présente analyse.

L'auteur se propose dans cette note d'appliquer et de discuter en détail, la théorie générale qu'il a donnée de l'induction magnétique du fer et autres métaux à quelques résultats expérimentaux du Dr Ewing. Comme dans presque toutes les questions de ce genre, tout revient à déterminer des constantes, en d'autres termes, de trouver la forme du graphique qui représente les conditions initiales. Ces conditions sont exprimées par l'équation obtenue en faisant $x = o$ dans l'expression (11) de l'analyse citée ci-dessus (*Ecl. El.*, t. XXIII, p. 267). Dans cette seconde partie de son travail, l'auteur ne donne que les résultats qu'il a obtenus en une première approximation, il indique la nature du problème compris dans l'application de la théorie générale aux faits expérimentaux, suggère la forme de la solution et compare les valeurs de x ainsi trouvées à celles obtenues dans la première partie de son travail par une méthode entièrement différente.

Courbe pour le fer recuit (Cf. *Ecl. Elect.*, t. XXIII, p. 263, fig. 1 [B]). — Dans la première partie de son travail M. Buchanan avait pour x de cette courbe, — en déterminant les constantes dans le cas d'un échantillon de fer soumis à une force magnétisante croissant continuellement, — la valeur $x = 1,2$, en même temps que l'intensité de saturation d'aimantation c est donnée comme étant 0,84, c'est-à-dire $0,84 \times 1700 = 1428$ C. G. S.

Dans cette seconde partie de son mémoire l'auteur considère la courbe (fig. 14, pl. LIX) du mémoire du Dr Ewing (*Phil. Trans.*, pt. II, 1885) se rapportant à la conduite du même échantillon de fer soumis à une force magnétisante variant cycliquement, et l'étudie par l'analyse harmonique.

La période est 180. L'auteur obtient comme composantes harmoniques de la courbe en question.

$$1521 \sin\left(\frac{2\pi}{180} H - 5°,0\right)$$

$$468 \sin\left(\frac{6\pi}{180} H - 14°,1\right)$$

$$273 \sin\left(\frac{10\pi}{180} H - 22°,3\right)$$

Les amplitudes de l'octave et de la troisième harmonique sont inappréciables, comme l'indique d'ailleurs la forme de la courbe ellemême.

La présence des *époques* dans les composantes harmoniques indique l'hystérésis et le magnétisme résiduel dans la substance.

On peut écrire l'équation (11) de l'analyse déjà citée sous la forme

$$(1)\ I = \sum_{r=1}^{r=\infty} D_r e^{-x\sqrt{\frac{\pi}{R}r}} \sin\left(\frac{2\pi r}{R} H - x\sqrt{\frac{\pi}{R}} r + \theta_r\right)$$

l'auteur ayant constaté qu'elle donnait des résultats peu concordants avec les essais.

où D_r, x et θ_r sont des constantes dont les valeurs sont à déterminer.

Pour la courbe en question r ne paraît posséder que des valeurs impaires, et cette dernière constatation nous suggère une modification de la figure 5 (*loc. cit.*) comme une forme possible du graphique appliqué pour une courbe expérimentale pareille à celle que nous considérons en y faisant $I_r = 0$. Une étude arithmétique prolongée conduit l'auteur à une forme générale de ce graphique ($I_x = 0$) représentée par la figure ci-dessous.

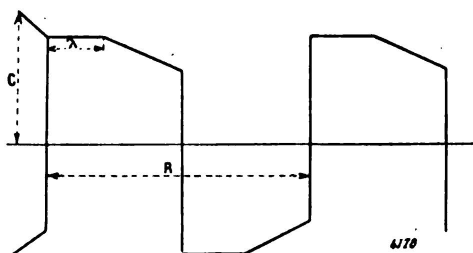


Fig. 1.

Pour trouver l'équation de ce graphique, soit :

$I_{x=0} = C$, depuis $H = O$ jusqu'à $H = \lambda$

$I_{x=0} = C - a(H - \lambda)$ depuis $H = \lambda$ jusqu'à $H = \frac{R}{2}$

$I_{x=0} = -C$, depuis $H = \frac{R}{2}$ jusqu'à $H = \frac{R}{2} + \lambda$

$I_{x=0} = -C + a\left(H - \frac{R}{2} - \lambda\right)$ depuis $H = \frac{R}{2} + \lambda$ jusqu'à $H = R$

En appliquant les méthodes de Fourier on trouve l'équation suivante :

$$(2) \quad I_{x=0} = \frac{2aR}{\pi^2}\sum_{r=1}^{r=\infty}\frac{1}{r^2}\cos\frac{\pi r}{R}\lambda\cos\frac{2\pi r}{R}\left(H - \frac{\lambda}{2}\right) + \frac{4C - a(R - 2\lambda)}{\pi}\sum_{r=1}^{r=\infty}\frac{\sin\frac{2\pi r}{R}H}{r};$$

où r est *impair*.

En comparant les deux relations (1) et (2), on obtient

$$(3) \quad \begin{cases} D_r\cos\theta_r = \dfrac{aR}{\pi^2 r^2}\sin\dfrac{2\pi r}{R}\lambda + \dfrac{4C - a(R - 2\lambda)}{\pi r}; \\ D_r\sin\theta_r = \dfrac{2aR}{\pi^2 r^2}\cos^2\dfrac{\pi r}{R}\lambda. \end{cases}$$

D_r et θ_r peuvent ainsi être exprimés en termes des constantes du graphique de $I_{x=0}$.

Maintenant, comme le Dr Ewing l'a indiqué (*Phil. Trans.*, pt. II, p. 533; 1885), « les courbes (d'aimantation)... paraissent dans tous les cas devenir, à une grande distance, tangentes à une ligne parallèle à l'axe des H toutes les fois que la variation de H est changée de signe ».

Dans les formules précédentes (1) et (2), ce renversement arrive quand $H = \frac{R}{4}$. Ceci suggère l'idée que si dans (2) nous posons $\lambda = \frac{R}{4}$ cela devrait nous rapprocher de la vérité.

Prenons alors comme valeur approchée $\lambda = \frac{R}{4}$ et substituons-la dans l'équation (3); on obtient ainsi

$$(4) \quad \begin{cases} D_r\cos\theta_r = \dfrac{aR}{\pi^2 r^2}\sin\dfrac{\pi r}{2} + \dfrac{4C - \frac{aR}{2}}{\pi r}; \\ D_r\sin\theta_r = \dfrac{aR}{\pi^2 r^2}. \end{cases}$$

d'où

$$(5) \quad \operatorname{tang}\theta_r = \frac{2}{rZ - \pi r + 2\sin\frac{\pi r}{2}}$$

en posant

$$Z = \frac{8\pi C}{aR}.$$

Cette relation (5) nous permet de voir la variation de tang θ_r avec Z pour des valeurs différentes de r. En traçant les courbes correspondantes à $r = 1$, $r = 3$, $r = 5$ on trouve que ces courbes sont des hyperboles.

On a ainsi trouvé les valeurs de θ_r telles que substituées dans l'équation (1) on obtient, au moyen de cette équation, très approximativement, les *époques* obtenues par la courbe expérimentale du Dr Ewing.

L'approximation la plus grande est donnée par

$$Z = 22;\ \theta_1 = 5°,4;\ \theta_3 = 2°,1;\ \theta_5 = 1°,1;\ x = 1,33.$$

En substituant alors ces valeurs respectives de x et θ_r dans l'équation (1) nous obtenons les composantes harmoniques :

$$D_1 e^{-1,33\sqrt{\frac{\pi}{180}}}\sin\left(\frac{2\pi}{180}H - 4°,7\right);$$

$$D_3 e^{-1,33\sqrt{\frac{3\pi}{180}}}\sin\left(\frac{6\pi}{180}H - 15°,3\right);$$

$$D_5 e^{-1,33\sqrt{\frac{5\pi}{180}}}\sin\left(\frac{10\pi}{180}H - 21°,4\right).$$

De plus, si nous substituons dans (4) la valeur trouvée de Z nous devons obtenir D_r. Nous avons ainsi :

$$\left\{\begin{array}{l} D_1 = C \times 1{,}214\,; \\ D_3 = C \times 0{,}4\,; \\ D_5 = C \times 0{,}223. \end{array}\right.$$

En identifiant alors les amplitudes calculées des composantes harmoniques avec celles trouvées par la courbe expérimentale, nous obtenons :

$$D_1 e^{-1{,}33\sqrt{\frac{\pi}{180}}} = 1521\,;$$

$$D_3 e^{-1{,}33\sqrt{\frac{3\pi}{180}}} = 468\,;$$

$$D_5 e^{-1{,}3\sqrt{\frac{5\pi}{180}}} = 273.$$

ou, en utilisant les valeurs de D_1, D_2, D_3 données ci-dessus :

$$C \times 1{,}214 \times e^{-1{,}33\sqrt{\frac{\pi}{180}}} = 1521\,; \quad \text{d'où } C = 1495\,;$$

$$C \times 0{,}4 \times e^{-1{,}33\sqrt{\frac{3\pi}{180}}} = 468\,; \quad \text{d'où } C = 1586\,;$$

$$C \times 0{,}223 \times e^{-1{,}33\sqrt{\frac{5\pi}{180}}} = 273\,; \quad \text{d'où } C = 1813.$$

La valeur de C obtenue en partant des différentes composantes harmoniques doit évidemment être la même.

Remarquons que les deux valeurs de x, à savoir $x = 1{,}2$ et $x = 1{,}33$ sont comparables l'une à l'autre, pendant que la valeur de $C = 1428$ n'est comparable qu'avec la première valeur que nous venons de trouver : $C = 1495$.

Courbe pour le fer durci (Cf. *c* et n° 3, fig. 1, analyse citée).

Dans la première partie de son travail (*Ecl. Elect.*, *loc. cit.*) M. Buchanan a donné les valeurs suivantes pour x. $x = 4$; $C = 1$; c'est-à-dire $C = 1700$ C. G. S. Ceci correspond à la courbe n° 3 de l'analyse citée.

Lorsque l'échantillon est soumis à une variation cyclique de H, on obtient comme composantes harmoniques (Ewing. *Phil. Trans.*, pt. II, 1885).

$$1235 \sin\left(\frac{2\pi}{168} H - 8^\circ{,}7\right);$$

$$203 \sin\left(\frac{6\pi}{168} H - 31^\circ{,}8\right);$$

$$78 \sin\left(\frac{10\pi}{168} H - 55^\circ{,}2\right);$$

Les amplitudes de l'octave et de la troisième harmonique sont donc encore inappréciables.

En faisant la même supposition que plus haut $\left(\lambda = \frac{R}{4}\right)$, nous obtenons

$Z \times 7{,}2$; $\theta_1 = 18^\circ{,}3$; $\theta_3 = 11^\circ{,}1$; $\theta_5 = 5^\circ 1$ et $x = 3{,}4$. —

En substituant tout cela dans (1) nous obtenons comme composantes harmoniques

$$D e_1^{-3{,}4\sqrt{\frac{\pi}{168}}} \sin\left(\frac{2\pi}{168} H - 8^\circ{,}3\right);$$

$$D_3 e^{-3{,}4\sqrt{\frac{3\pi}{168}}} \sin\left(\frac{6\pi}{168} H - 35^\circ{,}1\right);$$

$$D_5 e^{-3{,}4\sqrt{\frac{5\pi}{168}}} \sin\left(\frac{10\pi}{168} H - 54^\circ{,}5\right).$$

(4) donne de la même manière que plus haut

$$D_1 = C \times 1{,}132\,;$$
$$D_2 = C \times 0{,}204\,;$$
$$D_3 = C \times 0{,}144.$$

et en identifiant les amplitudes :

$$C \times 1{,}132 \times e^{-3{,}4\sqrt{\frac{\pi}{168}}} = 1235\,; \quad \text{d'où } C = 1736\,;$$

$$C \times 1{,}132 \times e^{-3{,}4\sqrt{\frac{3\pi}{168}}} = 203\,; \quad \text{d'où } C = 2220\,;$$

$$C \times 0{,}144 \times e^{-3{,}4\sqrt{\frac{5\pi}{168}}} = 78\,; \quad \text{d'où } C = 1390.$$

Et ici il convient de répéter ce que nous avons dit plus haut : les valeurs de x : $x = 4{,}0$ et $x = 3{,}4$ concordent suffisamment ; quant à la valeur de C, il n'y a guère que la première valeur 1736 qui concorde assez bien avec 1700.

Les résultats pour ces deux courbes, aussi approximatifs qu'ils soient, paraissent suggérer la possibilité d'obtenir la valeur de x et de l'intensité de saturation d'aimantation au moyen des résultats de l'analyse harmonique de la courbe (H, I) où H varie cycliquement.

Eugène Néculcéa.

DIVERS

Remarque sur la loi d'Ohm, par **J. Stark.** *Drude's Ann.*, t. V, p. 793-803, juillet 1901.

Dans la théorie des ions, la loi d'Ohm exprime le fait fondamental que l'intensité du courant et par suite la vitesse de migration des ions à travers une section déterminée est proportionnelle à la force qui agit sur l'ion au point considéré, Il faut distinguer de la force électromotrice telle qu'on la définit habituellement, cette force qui produit un courant par le déplacement des ions et auquel on peut donner le nom de force *ionomotrice* [1].

[1] Les deux expressions allemandes employées par M. Stark ne peuvent être différenciées en français par une traduction littérale : pour exprimer la distinction qu'il établit nous forgeons le mot ionomotrice. M. L.

Soient I_p, I_n, I_s les intensités du courant positif, négatif et total; X_p, la force ionomotrice agissant sur les ions positifs, X_n cette force pour les ions négatifs ; n_p, n_n le nombre d'ions positifs et d'ions négatifs dans l'unité de volume ; V_p, V_n, les vitesses de ces ions ; v_p, v_n leurs vitesses spécifiques (c'est-à-dire rapportées à l'unité de charge et à l'unité de champ); ε, la charge individuelle des ions ; $\lambda = \varepsilon\,(n_p v_p + n_n v_n)$ la conductibilité.

En raison de ces notations, les équations qui expriment la loi d'Ohm, dans le régime stationnaire s'écrivent sous la forme :

$$I_p = n_p \varepsilon_p V_p = n_p \varepsilon v_p X_p$$
$$I_n = n_n \varepsilon V_n = n_n \varepsilon v_n X_n$$
$$I_s = I_p + I_n$$

La force ionomotrice X se décompose en deux termes. L'un de ces termes a la même valeur pour les ions positifs et les ions négatifs : il provient de la chute de potentiel et a pour expression $-\frac{dV}{dx}$.

L'autre terme provient des forces électriques qui ont leur siège dans la section même : ce terme ne dérive pas d'un potentiel : soit E_{ip} et E_{in} pour les deux espèces d'ions. Les équations ci-dessus deviennent :

$$I_p = -n_p \varepsilon v_p \left(\frac{dV}{dx} - E_{ip}\right)$$

$$I_n = -n_n \varepsilon v_n \left(\frac{dV}{dx} - E_{in}\right)$$

E_{ip} et E_{in} peuvent avoir une valeur commune E_i : sinon, on introduira une force ionomotrice apparente :

$$E_i = \frac{1}{n_p v_p + n_n v_n}\,(n_p v_p E_{ip} + n_n v_n E_{in})$$

En réalité, ce qu'on doit considérer comme la

L'équation d'Ohm devient alors

$$I_s = I_p + I_n = -\varepsilon\,(n_p v_p + n_n v_n)\left(\frac{dV}{dx} - E_i\right)$$
$$= -\lambda\left(\frac{dV}{dx} - E_i\right) \qquad (1)$$

sous forme différentielle. Sous forme finie, on l'obtient en intégrant entre les limites x_1, x_2 correspondant aux extrémités d'un segment de conducteur $x_2 - x_1 = l$

$$I_s \int_{x_1}^{x_2} \frac{dx}{\lambda} = V_1 - V_2 + \int_{x_1}^{x_2} E_i\,dx.$$

L'intégrale $\int_{x_1}^{x_2} \frac{dx}{\lambda}$ représente la résistance totale du segment l : si λ est indépendant de x, on a comme d'habitude :

$$r = \frac{x_2 - x_1}{\lambda} = \frac{l}{\lambda};$$

$V_1 - V_2$ représente la différence de potentiel entre les extrémités du segment de conducteur. Le terme

$$\int_{x_1}^{x_2} E_i\,dx$$

représente l'énergie potentielle contenue dans le segment rapportée à l'unité de charge, soit W_i : on lui donne d'ordinaire le nom de force électromotrice intérieure. Dans ces conditions :

$$I_s = \frac{V_1 - V_2 + W_i}{r}$$

c'est l'équation d'Ohm sous sa forme générale. Si le circuit est fermé, il faut intégrer l'équation (1) sur toute l'étendue du circuit : ce qui donne :

$$I_s = \frac{\Sigma W_i}{\Sigma r}.$$

Les grandeurs E_i et W sont de nature différente : E_i est une force qui met en mouvement l'électricité : W_i représente une quantité d'énergie par unité de volume; c'est cette dernière qu'on désigne d'ordinaire sous le nom de force électromotrice.

Dans les gaz, la résistance n'est pas indépendante de l'intensité du courant et le passage du courant provoque l'apparition des forces électromotrices internes. Si on veut généraliser la loi d'Ohm pour l'appliquer aux gaz, il faut donc considérer dans l'équation

$$I_s = \frac{V_1 - V_2 + W_i}{r}$$

W_i et r comme des fonctions de I_s.

caractéristique de la loi d'Ohm, c'est que l'intensité du courant et la vitesse des ions, dans une section déterminée, sont proportionnelles à la force ionomotrice dans cette section, et en d'autres, indépendantes des variations de cette force dans l'espace.

Limite de validité de la loi d'Ohm. — Soit l le chemin libre des ions dans le courant électrique, μ leur masse. Sur toute l'étendue du chemin moyen, la force ionomotrice est constante. Pour établir l'équation limite, on supposera que l'induction propre d'un ion est très petite. Si $2vX$ est la vitesse d'un ion immédiatement avant son choc avec un autre ion.

$$\frac{1}{2}\mu\,(2vX)^2 = \varepsilon.X.l$$

$$l = 2\,\frac{\mu}{\varepsilon}\,v^2X.$$

La loi d'Ohm se vérifie tant que le chemin moyen des ions est petit vis-à-vis de la longueur Δx du conducteur, dans les limites de laquelle la force ionomotrice éprouve une variation sensible ΔX, c'est-à-dire tant que :

$$l : \frac{\Delta x}{\Delta X} = l\,\frac{\Delta X}{\Delta x} < -\,k$$

k étant une petite fraction. Pour que l'écart ne dépasse pas 1 p. 100, il faut que :

$$l\,\frac{\Delta X}{\Delta x} < -\,\frac{1}{100}$$

ou

$$\frac{\Delta X}{\Delta x} < -\,\frac{1}{100}\,\frac{\varepsilon}{2\mu v^2 X}.$$

La loi d'Ohm se vérifie donc toujours quand la force ionomotrice est indépendante des coordonnées. Si cette force varie avec les coordonnées, la loi est vérifiée dans une région d'autant plus grande que la limite assignée à $\frac{\Delta X}{\Delta x}$ par la condition ci-dessus est plus grande.

Dans les électrolytes, la loi d'Ohm se vérifierait encore avec une chute de potentiel de 100 volts par cm. Pour les métaux, on ne peut rien affirmer, car on ne connaît pas $\frac{\varepsilon}{V}$.

En ce qui concerne les gaz, il n'est pas légitime, *à priori*, de vouloir calculer les vitesses des ions d'après les principes de la théorie cinétique, car ces principes s'appliquent aux molécules neutres. Dans le cas des ions, on n'a plus le droit de dire que les forces agissant entre un ion et un ion voisin sont petites ou plus exactement le potentiel de ces forces est petit vis-à-vis de l'énergie cinétique de chacun d'eux. On est donc réduit à utiliser les valeurs que les expériences donnent d'une manière plus ou moins directe pour les vitesses des ions. On trouve que dans l'hydrogène à la pression ordinaire, la loi d'Ohm doit se vérifier quand la chute de potentiel, supposée de 10 volts par centimètre, ne varie pas de plus de 0,26 volt par centimètre. Mais, en réalité, surtout au voisinage des électrodes, la chute de potentiel est plus rapide et il est fort possible, que déjà sous la pression atmosphérique, la loi ne se vérifie plus dans ces régions de variation rapide.

Dans les gaz raréfiés, il peut arriver que les ions positifs suivent encore la loi d'Ohm alors que les ions négatifs s'en écartent : en effet, dans ces conditions $\frac{\varepsilon}{\mu_p}$ est de l'ordre de grandeur de 10^4, tandis que $\frac{\varepsilon}{\mu_n}$ est de l'ordre de 10^7.

Les courants de convection jouent un rôle important dans les gaz raréfiés. Il résulte de l'existence de ces courants que la chaleur de Joule ne se dégage plus à l'endroit même où le travail électrique équivalent est dépensé. En outre il se produit des accumulations d'ions ou autrement dit des charges libres internes. Enfin ces courants de convection, qui représentent l'écart de la loi d'Ohm et du phénomène sont l'un des facteurs les plus importants qui déterminent la formation des stratifications.

D'après la condition limite,

$$l\,\frac{\Delta X}{\Delta_2} < -\,k$$

la formation des stratifications est possible, quelle que soit la pression du gaz, si les vitesses des ions et les variations de la chute de potentiel sont assez grandes. Dans les gaz raréfiés, les stratifications dépendent surtout des ions négatifs, qui en raison de la grande valeur de $\frac{\varepsilon}{\mu_n}$ s'écartent plus tôt et plus de la loi d'Ohm que les ions positifs. La longueur des stratifications est d'autant plus grande que le chemin moyen l des ions est plus grand. Or l croît quand X augmente et quand la pression diminue; il décroît, à cause des actions mutuelles

entre les ions, quand le nombre des ions libres augmente, c'est-à-dire quand la densité du courant croît. M. LAMOTTE.

Notes sur la « tension diélectrique » par **Louis T. More.** *Phil. Mag.* [VI], t. II, p. 527, novembre 1901.

Cette note est la réponse à une note que M. Sacerdote a publiée [1] au sujet d'un mémoire de M. More intitulé : *Sur l'allongement d'un diélectrique dans un champ électrostatique*, et qui a été analysé ici-même [2]. Nous disions dans cette analyse que M. More n'avait pu constater aucun allongement apparent avec les tubes de verre et caoutchouc durci qu'il avait soumis à l'expérience. La conclusion finale de son mémoire était que si cet effet existait, il devrait être extrêmement petit et qu'il croit que la conclusion contraire à laquelle sont arrivés les observateurs qui ont étudié cette question avant lui, provient de ce qu'on n'a pas suffisamment tenu compte des causes étrangères qui entrent dans l'évaluation de leurs résultats numériques. La note que M. Sacerdote a fait paraître sur l'article de M. More tend à infirmer les conclusions que nous venons de rappeler en soutenant que les résultats négatifs obtenus par M. More prouvent simplement que ses expériences ont été soigneusement faites, car dans les conditions expérimentales dans lesquelles M. More s'est placé on ne peut pas observer un allongement appréciable.

M. More fait connaître dans la présente note que cette opinion de M. Sacerdote provient de ce qu'il s'est mépris sur quelques considérations figurant dans sa note déjà citée.

M. Sacerdote croit, dit l'auteur, que mon appareil n'est pas sensible aux résultats positifs qu'on doit obtenir parce qu'il est destiné à mesurer des déplacements de l'ordre de ceux obtenus par Quincke et non pas de l'ordre de grandeur (bien plus petit) de ceux de Cantone. Et ici ajoutons que M. More déclare qu'à l'époque où il a écrit son mémoire il n'avait aucune connaissance des résultats théoriques de M. Sacerdote [3], qui reposent d'ailleurs sur les expériences de Cantone [1] et Sozzani [2] également ignorées par l'auteur.

M. Sacerdote suppose ensuite que les résultats de Cantone sont corrects, et il les applique à l'appareil de M. More.

Si l'on désigne par l la longueur du condensateur,

Par δl l'allongement pour un potentiel V et d la distance qui sépare les électrodes, on a

$$\frac{\delta l}{l} \times \frac{d^2}{V^2} = 6 \times 10^{-13}.$$

En y substituant les données figurant dans le mémoire cité de M. More (*Phil. Mag.* [VI], t. II, p. 204 ; 1901) on trouve une déviation correspondant à 3,5 divisions du micromètre du microscope ; or, ce déplacement, ajoute M. Sacerdote, ne pouvait évidemment pas être observé avec certitude, vu que M. More cite des déplacements du zéro de son micromètre dépassant 3 divisions. M. More répond à cette objection en disant que les déplacements en question se refèrent aux observations sur le module d'Young, en vue de prouver la précision de la méthode du miroir dans l'indication des changements de longueur. Ceci n'était nullement dû à la non précision de l'appareil, ni au fait qu'on ne pourrait pas mesurer des déviations inférieures à 3 divisions, mais simplement *aux effets résiduels qui accompagnent toujours les phénomènes où l'élasticité entre en jeu.*

Ainsi, par exemple, en plaçant sur le tube de son appareil un poids de 500 gr, on observait une diminution de longueur correspondant à 16,7 divisions ; mais en enlevant le poids, on ne constatait qu'une augmentation de longueur correspondant à 14 divisions ; la différence de 2,7 divisions n'était, par suite, pas causée par l'impossibilité d'apprécier 2,7 divisions, mais seulement parce que le verre ne reprenait pas immédiatement sa longueur primitive. L'auteur affirme, en outre, qu'il pouvait apprécier, avec précision, jusqu'à 1/4 de division ; et que cette précision n'a d'ailleurs rien d'extraordinaire ayant déjà été obtenue par d'autres expérimentateurs en employant un cathétomètre à microscope.

[1] *Phil. Mag.* [VI], t. II, p. 357-359 (1901).
[2] *Écl. Élect.*, t. XXV, p. 480.
[3] *Ann. de Phys. et Chimie* [VII], t. XX, p. 289 ; *Journ. de Phys.* [III], t. VIII, septembre-octobre 1899. *Écl. Élect.*, t. XV, p. 196 ; t. XX, p. 470 ; t. XXII, p. 317 ; t. XXIII, p. 5.

[1] *Rend. d. R. Acc. dei Lincei* [IV], t. IV, p. 344, 471.
[2] *Rend. d. R. Ist. Lomb.* [II], t. XXXIII, 1900.

En revenant aux expériences de Cantone, ce dernier remarque que quand son tube était chargé la déviation obtenue était plus grande que celle obtenue quand le tube était déchargé, donnant ainsi naissance à un déplacement permanent des bandes qui, pour en donner un exemple, atteignait dans une de ses expériences 0,37 frange; or, M. Sacerdote ne suppose pas dans sa critique que ce déplacement est dû au peu de précision des lectures : il croit qu'il est dû aux différences d'allongement du tube. Dans ces conditions, M. Sacerdote doit ou accepter les limites de lectures que M. More a données ou mettre en doute la véracité de toutes ses expériences; or, M. Sacerdote fait justement le contraire.

M. More cite ensuite les résultats obtenus par MM. Cantone et Sozzani en ce qui concerne le verre; ces derniers donnent comme déplacement de franges, observé avec un tube de verre chargé, 0,18 jusqu'à 2,61 franges; mais le plus souvent ce déplacement ne dépassait pas une fraction de frange. Et M. More ne croit pas que les auteurs en question prétendent une précision d'un dixième de frange ; dans ces conditions les résultats ci-dessus semblent être, théoriquement, aussi près de la limite d'observation que les siens.

Dans l'appareil de M. Morel a limite d'appréciation d'un changement de longueur était de 1/4 de division, et quand le tube était chargé on ne remarquait pas de déplacement du zéro; théoriquement il devrait se deplacer de 3,5 divisions.

D'autre part, M. Sacerdote n'a pas calculé ces résultats pour le plus haut potentiel employé. La valeur considérée est celle qui correspond à une étincelle de 12 mm entre deux électrodes sphériques de 2 cm de diamètre. L'auteur décrit en effet, dans son premier mémoire, un procédé qui lui permettait d'atteindre une longueur d'étincelle de 2 cm ; ce qui correspond environ à 140 C. G. S. On devrait dans ces conditions, d'après la formule ci-dessus, observer une déviation de 5,7 *divisions*; or, il n'en est rien : les tubes préfèrent, d'après M. More, se briser, plutôt que de s'allonger.

MM. Quincke et Cantone considèrent le fait, que le résultat de leurs recherches donne comme allongement (linéaire) 1/3 de l'augmentation de volume du liquide du condensateur-thermomètre, comme une preuve évidente de l'existence de l'allongement diélectrique et de sa proportionnalité à $\frac{V^2}{d^2}$. Mais cette évidence semble vraiment douteuse. Et si la théorie de M. Sacerdote prévoit un pareil phénomène, M. More ne s'en étonne nullement vu que cette dernière est basée sur des coefficients dont l'existence dépend des expériences qu'on est précisément en train de discuter. D'autre part, la théorie des tensions dans l'éther, de Maxwell, n'est pas d'accord avec la valeur que les auteurs précédents assignent à l'allongement qu'on prétend exister : une tension le long des lignes de force et une pression en angle droit avec ces dernières produira un effet différentiel sur le volume et le changement de volume, au lieu d'être plus grand que l'allongement linéaire à angle droit avec les lignes de force, comme les auteurs précédents le prétendent, il sera, au contraire, plus petit.

L'évidence de l'existence du phénomène en question paraît donc être bien compromise. Et ce n'est pas la précision des expériences qui fait défaut.

Eugène NÉCULCÉA.

SOCIÉTÉS SAVANTES ET TECHNIQUES

ACADÉMIE DES SCIENCES

Séance du 9 Décembre 1901.

Sur la radioactivité de l'uranium, par **Henri Becquerel**. *Comptes rendus*, t. CXXXIII, p. 977-980.

On sait que M. Giesel a montré qu'après certains traitements les préparations d'uranium deviennent moins actives et que M. Crookes obtint par des cristallisations fractionnées de l'azotate d'uranium inactif. M. Becquerel obtint également du chlorure d'uranium presque inactif en ajoutant à une solution de chlorure actif une faible quantité de chlorure de baryum, précipitant le baryum à l'état de sulfate, et recommençant dix-huit fois cette double opération [1].

[1] *Écl. Élect.*, t. XXIII, p. 470; t. XXIV, p. 159. 23 juin et 23 juillet 1900.

Ces résultats paraissaient indiquer que la radio-activité de l'uranium pourrait provenir d'une trace d'un composé très actif, l'uranium pur étant inactif. Mais cette conclusion s'accorde mal avec le fait que la radio-activité d'un sel déterminé d'uranium, pris dans le commerce, est la même quelle que soit la provenance du métal et quels que soient les traitements antérieurs subis.

En tout cas, il résultait de cette dernière remarque que l'uranium possède par lui-même ou par la présence d'un corps étranger, une radio-activité, susceptible d'être affaiblie par certains traitements, mais reprenant peu à peu sa valeur primitive.

Cette dernière hypothèse vient d'être confirmée par l'expérience. En reprenant l'étude des produits progressivement affaiblis obtenus il y a dix-huit mois, M. H. Becquerel a reconnu que tous ont repris leur radio-activité initiale, mais que, par contre, le sulfate de baryum précipité, autrefois plus actif que l'uranium, est aujourd'hui complètement inactif.

Ces faits constituent une forte présomption en faveur de l'existence d'une radio-activité propre à l'uranium, bien qu'il reste encore possible que ce métal soit intimement uni à un autre produit très actif, non séparé dans les opérations précédentes.

Quoiqu'il en soit, il convient de chercher à expliquer comment les sels d'uranium reprennent la radio-activité que lui ont fait perdre certains traitements chimiques ; c'est ce que M. Becquerel essaie de faire dans la suite de sa note (1).

(1) Voici ce qu'il dit à ce sujet :

« Par quel mécanisme le corps regagne-t-il l'activité temporairement affaiblie ? L'hypothèse d'une auto-induction s'appliquerait à un mélange et même à une combinaison chimique de molécules, les unes actives, les autres inactives; pour un corps pur, elle équivaut à celle d'une transformation moléculaire.

» Il n'est peut-être pas sans intérêt d'indiquer une hypothèse qui m'a guidé jusqu'ici et qui ne paraît pas en désaccord avec la plupart des faits observés. J'ai déjà développé l'idée que si l'émission des rayons déviables, identiques aux rayons cathodiques, était la cause de l'émission du rayonnement non déviable, qui a tant d'analogie avec les rayons X, cette émission spontanée pouvant être comparée à l'évaporation d'un corps odorant, la radio-activité se rapprocherait d'un phénomène connue. L'énergie dissipée serait empruntée au corps actif lui-même, mais la perte de poids correspondante serait trop faible pour être observée.

» Conformément à une hypothèse de M. J.-J. Thomson, il y aurait deux sortes de particules de différentes grosseurs, les unes environ mille fois plus petites que les autres; en se séparant, les plus petites emporteraient des charges négatives et prendraient des vitesses énormes qui leur permettraient de traverser les corps; les autres, plus grosses, dont les masses seraient de l'ordre de celles des ions électrolytiques, seraient animées de vitesses beaucoup moindres; elles ne traverseraient pas les corps et se comporteraient comme une sorte de gaz, formant sur tous les corps, excepté sur ceux qui sont électrisés positivement, un dépôt matériel qui expliquerait les phénomènes de radio-activité induite et l'identité de l'induction sur les divers corps solides, quelle que soit leur nature.

» Ce dépôt de matière serait capable de se diviser à son tour en particules plus petites qui traverseraient le verre, donnant les rayons déviables et non déviables observés avec les substances induites, et ce serait par suite de cette subdivision moléculaire que la radio-activité induite se dissiperait, même au travers d'une enveloppe de verre.

» On pourrait même invoquer ce phénomène de la mise en liberté des ions d'une partie des mollécules dans les dissolutions pour rendre compte de l'augmentation du pouvoir inducteur de certains corps actifs quand ils sont dissous.

» On ne saurait toutefois assimiler à un gaz ordinaire l'émanation qui produit la radio-activité induite, car, d'après les expériences de M. Curie, l'équilibre qui s'établit dans une enceinte fermée entre la matière active et les parois induites est fonction de la quantité de matière active et ne présente pas de phénomène analogue à la tension maximum d'une vapeur. »

Influence des courants vagabonds sur le champ magnétique terrestre, à l'observatoire du parc Saint-Maur, par **Th. Moureaux**. *Comptes rendus*, t. CXXXIII, p. 999-1001.

On sait que le développement des lignes de pénétration à traction électrique a rendu nécessaire la création d'un nouvel observatoire magnétique au Val-Joyeux (1). Toutefois les installations de l'observatoire du parc Saint-Maur ont été conservées et grâce à l'emploi d'amortisseurs (2) les perturbations ont été notablement atténuées.

Dans sa note à l'Académie, M. Moureaux fait connaître les résultats de la comparaison des courbes obtenues dans les deux observatoires pour la déclinaison, la composante verticale et la composante horizontale. Il a été constaté que les courbes diffèrent non seulement pendant les heures de la journée où les tramways fonctionnent, mais encore pendant celles où le service est suspendu. Comme cette discordance ne peut

(1) *Écl. Élect.*, t. XXVI, p. 112, 19 janvier 1901.

(2) *Écl. Élect.*, t. XXIV, p. 239, 11 août 1900.

provenir d'une différence réelle dans la marche de la variation diurne au parc Saint-Maur et au Val-Joyeux (M. Moureaux le montre par diverses comparaisons), il faut donc en conclure que le champ terrestre est perturbé au parc Saint-Maur. depuis l'établissement des tramways électriques. Cette perturbation se manifeste d'ailleurs non seulement sur la variation diurne, mais encore sur la valeur absolue des éléments magnétiques.

Sur l'auscultation des orages lointains et sur l'étude de la variation diurne de l'électricité atmosphérique, par **Th. Tommasina**, *Comptes rendus*, t. CXXXIII, p. 1001-1003.

Une nouvelle série d'observations des orages lointains par auscultation au moyen de l'électroradiophone permet à l'auteur de confirmer les résultats décrits dans sa note du 26 novembre 1900 (1) et d'en signaler d'autres (2).

(1) *Écl. Élect.*, t. XXV, p. 515, 29 décembre 1900.

(2) Voici ce que dit M. Tommasina : « De premières observations ont été faites avec le même dispositif, sauf l'isolement des extrémités des antennes, pour lequel j'ai adopté trois isolateurs du même type que les isolateurs de Mascart, et j'en ai placé un dans la maison, auquel venaient aboutir les trois fils d'antenne. C'est avec ce dispositif que j'ai pu constater pendant un orage qui s'avançait dans le champ visuel délimité par les trois fils s'élargissant en éventail, que *certains éclairs semblent dus à des décharges non oscillantes*, car l'électroradiophone n'en donnait aucun signe perceptible; ce point étant très discuté, je crois utile de signaler cette observation.

» Plus tard, ayant prolongé de 120 m l'antenne centrale, comme je le décrirai dans la suite, j'ai pu écouter les orages qui avaient lieu pendant la nuit du 29 au 30 octobre, à plus de 200 km d'Intra (lac Majeur), en Ligurie, et pendant la nuit du 1er au 2 novembre, sur la mer, près des côtes de l'île d'Elbe, ainsi dans une zone de plus de 400 km de rayon.

» Cette grande distance à laquelle les orages peuvent être perçus a été constatée aussi par le professeur Boggio Lera à l'observatoire météorologique de Catane, entre Catane (Sicile) et Foggia (Italie méridionale), 430 km. (*Atti dell' Accademia Gioenia die Scienze naturali in Catania*, 4e série, vol. XIV, octobre 1901).

» La raison qui m'avait conduit à modifier mon système d'antennes est la suivante : Pendant les auscultations que je faisais à intervalles variables de sept heures du matin à minuit, prenant note chaque fois de la hauteur du baromètre, de l'état hygrométrique de l'air, de la température et de l'état du ciel, j'avais entendu toujours de très légers chocs dans l'appareil. Ces chocs avaient un caractère spécial; ils se produisaient à intervalles plus ou moins rapprochés, suivant les heures, mais assez réguliers pendant le temps de chaque observation. Ce n'était pas le bruit des orages, ni celui qui indique un changement du temps ou plus particulièrement la pluie.

» L'appareil qui donnait le mieux ce phénomène était un électroradiophone très sensible dont le cohéreur décohérent était à contact charbon-bismuth, formé d'un seul fragment de bismuth (lame mince de clivage) placé entre deux cylindres de charbon.

» J'ai pu reconnaître facilement que le phénomène est dû à une charge statique, les antennes fonctionnant aussi comme collecteur de l'électricité atmosphérique. En effet, si l'on ôtait la communication avec la terre, le bruit ne se reproduisait plus, de même en la rétablissant et en interrompant celle avec les antennes. D'ailleurs, en insérant directement l'électroradiophone sans pile entre le fil de terre et le fil aérien, le bruit se produisait encore, mais plus faiblement.

» Pour augmenter la surface collectrice et dans le but aussi d'étendre plus loin la perception des orages, j'ai alors tendu presque horizontalement un fil de fer galvanisé de 1 mm d'épaisseur et de 120 m environ de longueur, allant sous le toit d'une maison en construction à 16 m de hauteur et fixé à chaque extrémité à un isolateur. Un bon contact était établi entre ce fil et l'antenne centrale de 30 m de long du premier faisceau, ce qui, avec les deux autres fils, faisait un total de 210 m d'antennes. Ayant obtenu ainsi l'augmentation de l'effet, j'ai pu m'assurer que le phénomène a lieu constamment jour et nuit. Lorsque aucune action météorique n'intervenait, la moyenne était de 5 à 6 décharges par minute seulement.

» Quant à la variation diurne de l'électricité atmosphérique, j'ai pu constater les deux maxima du matin et du soir, le premier beaucoup moins accentué que le deuxième. En outre, dans ces observations, bien qu'en nombre très limité, faites depuis la moitié d'octobre au 7 novembre, j'ai reconnu *une diminution progressive de l'intensité du maximum du matin avec tendance à disparaître pour former une seule oscillation ayant son maximum dans les premières heures de la nuit.* »

Sur l'état du silicium dans les fontes et les ferrosiliciums à faible teneur, par **P. Lebeau**. *Comptes rendus*, t. CXXXIII, p. 1008-1010.

Les différents auteurs qui se sont occupés de rechercher sous quelle forme existe le silicium dans les fontes et aciers n'ont pu émettre une opinion décisive. M. Lebeau qui, par voie de synthèse, a pu préparer les composés Si^2Fe, SiFe, $SiFe^2$, montre dans sa communication que c'est sous la forme de $SiFe^2$ qu'existe le silicium. Il ne peut, dit-il, exister sous la forme des deux autres composés, car Si^2Fe ne se produit qu'en présence d'un grand excès de silicium, et d'autre part diverses expériences indiquent que SiFe ne peut exister en présence d'un excès de fer; enfin l'examen des résidus d'attaque des fontes d'aciers par l'acide azotique ou par le chlorure double de cuivre et de potassium fait voir qu'il ne se trouve pas sous la forme de silicium libre.

Le Gérant : **C. NAUD.**

TABLE MÉTHODIQUE DES MATIÈRES

ÉLECTRICITÉ ET MAGNÉTISME

Théories et Généralités.

Conducteurs, Électrolytes et Diélectriques.

Décharge électrique.

Oscillations hertziennes.

Distribution.

Applications mécaniques.

Traction et Propulsion.

Télégraphie et Téléphonie.

Applications thermiques.

Éclairage électrique.

Électrochimie et Électrométallurgie.

MESURES

DIVERS

Sociétés savantes, techniques et industrielles.

Expositions, Congrès, etc.

Lois, Décrets, Jurisprudence, etc.

Nécrologie.

Bibliographie.

TABLE DES NOMS D'AUTEURS

A

B

M

N

O

P

Q

R

S

L'Éclairage Électrique

REVUE HEBDOMADAIRE DES TRANSFORMATIONS

Électriques — Mécaniques — Thermiques

DE

L'ÉNERGIE

SOMMAIRE

Adresser tout ce qui concerne la Rédaction à M. J. BLONDIN, 171, Faubourg Poissonnière (9e arrondissement).

M. BLONDIN reçoit, 3, rue Racine, le jeudi, de 2 à 4 heures.

ÉCLAIRAGE

Sur la lampe Nernst. — Récemment, divers articles sur cette lampe ont été publiés dans les journaux techniques allemands et plus récemment encore, M. Wurts a fait au meeting de Buffalo, de l'American institute of Electrical Engineers, une fort longue communication sur le même sujet. Dans la *Revue industrielle* du 28 septembre 1901, M. Ph. Delahaye résume comme il suit ces divers articles de communication :

Il y a un an, la lampe électrique à incandescence de Nernst éblouissait de ses feux les visiteurs de l'Exposition Universelle. Elle paraissait chez nous dans tout l'éclat d'une nouveauté relative; car, avant d'être présentée au Champ de Mars, elle avait été déjà produite en public, notamment à Göttingen, où l'on avait apprécié ses avantages, et aussi certains de ses inconvénients. Son introduction officielle semblait devoir précéder de peu son exploitation commerciale, alors surtout qu'on lui prêtait une supériorité économique fort appréciable. Les éloges ne lui ont pas manqué, non plus que les encouragements de toute nature, et cependant nous en sommes encore réduit à parler d'elle, sans qu'il soit devenu possible de contrôler par des expériences personnelles les affirmations de ses représentants.

En Allemagne, aux Etats-Unis, on nous apprend comment elle se comporte dans des essais de laboratoire ou dans des installations d'amateurs privilégiés. Ce qu'on en raconte est fort alléchant, mais encore l'hésitation est-elle permise sur l'avenir de cette invention, sur la place qu'elle est appelée à prendre dans l'éclairage public ou particulier. La connaissance des résultats obtenus permettra à chacun de se faire une opinion, en nous dispensant de formuler la nôtre, et nous pourrons attendre ainsi patiemment que la lampe Nernst soit en état de s'offrir à la clientèle.

Le journal allemand *Elektr. Anzeiger*, du 4 juillet dernier, a fait connaître des essais exécutés sur trois lampes commerciales Nernst, type 220 volts-200 watts, qui ont été en service continu jusqu'à ce que mort s'ensuive. Ces trois lampes ont vécu respectivement 124, 293 et 369 heures : elles ont péri toutes trois par fusion du conducteur qui alimentait le filament incandescent. Les observations photométriques n'ont pas manqué pendant leur courte carrière, en particulier sur la lampe de 369 heures. Sous le voltage continuellement maintenu à 220 volts, le pouvoir éclairant et le rendement en watts par bougie ont présenté les variations suivantes :

Dates des observations.	Bougies Hefner.	Rendements.
Au départ	146	1,33
Après 100 heures	99	1,91
220	81	2,19
300	60	2,68
350	48	2,89

Cet essai doit être considéré comme peu encourageant, et, à lui seul, il n'autorise aucune conclusion. Fort heureusement, M. le professeur Wedding a procédé à des expériences beaucoup plus complètes, dont il a rendu compte dans *Elektr. Zeitung* du 1er août. Sans mettre en doute sa science, nous trouvons à M. Wedding un œil photométrique qui ne laisse rien perdre du pouvoir éclairant : c'est une propriété qui lui est commune avec d'autres observateurs allemands de voir, aussi bien dans les becs Auer que dans les lampes à incandescence électrique, plus de bougies que leurs confrères étrangers, sauf peut-être les Américains. Est-ce la conséquence de l'emploi d'un étalon photométrique aussi faible que la bougie Hefner, ou des différences d'impression sur l'œil des rayons lumineux prédominants dans les foyers à incandescence ? Toujours est-il que le professeur Wedding aperçoit déjà la lampe Nernst à 1 watt par bougie, quoique son photomètre ne la lui ait pas encore révélée. Sur une lampe à filament horizontal et avec globe clair, sous 220 volts, et 0,184 ampère, il a reconnu un pouvoir éclairant moyen de 17,6 bougies au-dessus du plan du filament, de 26,5 bougies au-dessous, et de 19,7 bougies dans le plan lui-même. Dans un essai sur l'absorption de lumière par un globe dépoli, avec une lampe de 220 volts et 0,88 ampère, dite de 150 bougies, il a trouvé :

	Sans globe.	Avec globe.
Moyenne sphérique	103,1 boug.	88,5 bougies.
Hémisph. supérieur	96, »	83,4 »
» inférieur	110,3 »	93,6 »

Ce n'est pas tout à fait les 150 bougies du prospectus, même à feu nu ; mais les fabricants américains et les financiers nous ont appris, depuis quelques années, à ne pas confondre la valeur nominale et la valeur réelle, lorsqu'il s'agit de lampes électriques ou de titres de bourse. Au point de vue des rendements en watts par bougie, la lampe Nernst et la lampe à filament de carbone dans le vide seraient dans le rapport de 1 à 2, résultat déjà fort estimable.

Aux Etats-Unis, à l'occasion de l'Exposition panaméricaine de Buffalo, M. Alexander Jay Wurts a présenté à l'Institut Américain des Ingénieurs Electriciens une communication sur la lampe Nernst, en dix colonnes du journal *Electrical World*. M. Westinghouse paraît porter quelque intérêt à cette lampe et c'est grâce à lui que les études en ont été faites aux Etats-Unis et la fabrication organisée.

La lampe telle qu'elle est construite là-bas (et probablement aussi en Europe) est constituée des éléments essentiels suivants : 1° le filament (glower) porté à l'incandescence par le courant électrique; 2° une résistance de réglage (ballast) montée en série avec chaque filament ; 3° le support (holder) qui contient un ou plusieurs filaments et leurs réchauffeurs (heaters).

Pour la lampe à 220 volts, le filament-type a une longueur de 25 mm environ et un diamètre de 0,63 mm. Il se prépare en passant à la filière une pâte formée de terres rares et d'une matière liante, et coupant de longueur des morceaux qui sont séchés, cuits et finalement fixés aux fils conducteurs du courant. Ce filament, quand il brûle à l'intérieur d'un globe, dans sa propre chaleur, a un rendement lumineux supérieur à celui qu'il donne à l'air libre. De la résistance, il n'y a rien de particulier à dire. Quant au réchauffeur, c'est un tube en porcelaine mince sur lequel est enroulé un fil fin de platine, noyé dans un ciment qui le protège contre la chaleur du filament. L'enroulement de platine est pour 110 volts et les réchauffeurs vont par deux : une paire suffit aux lampes de 1, 2 et 3 filaments, et deux paires aux lampes à 6 filaments. Avec ces réchauffeurs, l'allumage de la lampe se fait en 30 secondes au plus.

Voici les caractéristiques, d'après M. Wurts, des lampes actuellement fabriquées :

à 1 filament	100 volts	50 bougies
» 2 »	220 »	100 »
» 3 »	220 »	170 »
» 6 »	220 »	400 »

Au 15 juillet dernier, il y avait en service : à East Pittsburg, 73 lampes à six filaments, 1 à trois filaments et 3 à un filament ; à Allegheny, 45 lampes à six filaments, 10 à trois filaments et 21 à un filament; chez M. Westinghouse, 14 lampes à un filament. A l'Exposition pan-américaine, dans le Palais de l'Electricité, sont disposées environ 125 lampes, la plupart à six et les autres à trois ou un filament. Les filaments lorsqu'il y en a plus d'un, sont montés parallèlement sur un support commun.

Dans des expériences comparatives de lampes à arc en vase clos, une lampe à six filaments a donné

les résultats suivants : avec 220 volts et 2,35 ampères ou 517 watts, moyenne sphérique 149 bougies hefner, et moyenne de l'hémisphère inférieur 240 bougies, sous globe dépoli au sable ; watts par bougie, moyenne sphérique 3,47 et moyenne hémisphérique 2,15. Le filament sous 220 volts travaille normalement avec 0,4 ampère, et demande à l'air libre 20 volts de plus que quand il brûle avec cinq autres filaments à l'intérieur d'un globe de 3 pouces (75 mm).

A ces renseignements déjà bien suffisants, il convient d'ajouter, toujours d'après M. Wurts, que : « Il est trop tôt pour donner un aperçu exact du coût de la lampe ; 14 à 15 dollars semblent un bon prix pour la lampe à six filaments, et, pour les autres, le prix serait proportionnel au nombre des filaments ».

Aux Etats-Unis, les promoteurs de la lampe Nernst semblent, pour le moment, considérer qu'elle est appelée à prendre la place des régulateurs en vase clos. D'après les instructions fournies par M. Wurts relativement à l'entretien et à la surveillance, elle n'est pas encore à craindre pour les lampes à filament de carbone dans le vide, et peut-être ne le sera-t-elle jamais.

Les détails donnés sur la fabrication et le montage n'ont pas seulement le mérite de nous apprendre avec quel soin on étudie aux Etats-Unis une invention avant de la lancer : ils permettent de se faire une idée des précautions et des soins que la lampe Nernst exige, si l'on veut que son fonctionnement ne laisse rien à désirer, — et il y a vraiment de quoi effrayer un simple consommateur. Ce luxe de renseignements se comprend dans un pays où nombre de stations centrales d'électricité prennent à leur charge le remplacement des lampes usées ou naturellement hors de service ; elles peuvent avoir intérêt à tenir toujours en parfait état le matériel d'utilisation du courant, à introduire chez les abonnés les appareils les plus économiques, parce que l'amélioration du rendement lumineux se traduit par une diminution des frais de production, et, par suite, a finalement un effet favorable au point de vue des bénéfices. Il en est tout autrement chez nous : le consommateur, en général, paie le courant et en tire ensuite ce qu'il veut ; il va sans dire que, la plupart du temps, il considère comme une perte sèche toute dépense de remplacemeut ou d'entretien et laisse brûler ses lampes aussi longtemps qu'elles veulent bien, en y touchant le moins possible.

Les questions de prix et d'entretien n'ont pas sur l'adoption d'une lampe nouvelle la même influence aux Etats-Unis que chez nous, où elles sont des obstacles dont on ne triomphe qu'avec le temps, mais les Américains ont une manière à eux de faire de l'industrie. Quand une entreprise ou une invention leur paraît avoir de la valeur, ils en organisent, a priori, l'exploitation en vue non pas du présent, mais du futur, sans être arrêtés par la disproportion souvent considérable qui existera, pendant des années, entre les dépenses de premier établissement et les recettes probables. La puissance de leurs ressources financières leur permet ces fantaisies coûteuses auxquelles se mêle beaucoup de spéculation : le jeu des gros capitaux, encouragé par les résultats obtenus dans certaines industries métallurgiques ou électriques, tend à se généraliser, et l'argent croit maintenant n'avoir à compter avec personne.

Nous admettons volontiers que s'il s'agit de desservir le réseau des tramways électriques ou le métropolitain aérien électrique de New-York, on construise une station centrale dont la salle des machines, de 120 m de long sur 60 m de large, recevra huit machines à vapeur compound de 12 000 chevaux chacune, pour produire en service normal une énergie de 65 000 chevaux, et, au besoin, de 100 000 chevaux. De même à Boston, pour le réseau des chemins de fer aériens, on s'explique la création de quatre stations centrales, capables pour le moment de fournir des dizaines de milliers de kilowatt-heure :

Noms des stations	Puissance maximum
Centrale	40.350 ampères
East Cambridge. . .	7.650 »
Charlestown.	4.350 »
Lincoln	21.150 »

et capables, en cas d'urgence, pendant une heure ou deux, de forcer de 50 p. 100 ou 73 p. 100 ces puissances maximum.

Electrical World, 10 août 1901. Communication de M. H. Shepard. Ces installations énormes ont peut-être leur raison d'être, et lors même qu'elles seraient manifestement exagérées, elles pourraient se justifier

au point de vue de la continuité du service et des conditions économiques du travail. Mais il en est tout autrement d'un appareil d'éclairage dont l'emploi est subordonné à l'appréciation du public, à ses habitudes, à son intérêt. Ce n'est pas avec des millions qu'on le fera prendre, parce que, indépendamment de la question d'argent, il exige l'intervention personnelle du consommateur. La lampe américaine Nernst, malgré le patronage de M. Westinghouse, aura à triompher des concurrences, des oppositions de toute nature, sans compter les difficultés d'application sur les réseaux où la distribution du courant n'existe pas à 220 volts. Il lui faudra faire, comme les autres, son chemin avec le temps, à moins que la lampe à osmium du Dr Auer ne rélègue au second plan et Nernst, et ses prédécesseurs.

DIVERS

De l'optique des rayons de Rœntgen et des rayons secondaires qui en dérivent, par **G. Sagnac** (Thèse de doctorat, Paris, *Gauthier-Villars*, 1900, in-8°, 169 p.) A différentes reprises, divers expérimentateurs ont annoncé qu'ils avaient réussi à mettre en évidence une réfraction ou une diffraction des rayons Röntgen, au moyen de la radiographie. Ils prétendaient tirer de ces expériences les valeurs des longueurs d'onde propres à ces rayons

Cependant les chiffres ainsi obtenus diffèrent tellement entre eux, qu'il est difficile de leur attribuer une signification, même en tenant compte de l'hétérogénéité certaine des rayons.

M. Sagnac démontre que ces prétendus phénomènes de réfraction ou de diffraction ne sont autre chose que des illusions d'optique provoquées par le mode d'enregistrement photographique : dans une série d'expériences ingénieuses, il reproduit ces apparences, dans des conditions géométriques identiques, avec les rayons visibles : il est alors manifeste qu'elles ne dépendent en rien de la réfraction ou de la diffraction régulières.

Dans des études sur les rayons lumineux, M. Sagnac a démontré qu'un milieu pur et homogène est forcément un milieu trouble pour des vibrations dont la longueur d'onde n'est pas trop supérieure aux distances moyennes des particules du milieu.

Ces vibrations se propageraient dans le milieu sans réfraction. Il a été conduit ainsi à étudier la dissémination des rayons de Röntgen par les diverses substances.

En pénétrant dans la matière, les rayons de Röntgen s'affaiblissent graduellement sans que leurs trajectoires rectilignes cessent d'être définies. Mais chaque élément de matière frappé par ces rayons devient un centre d'émission d'un nouveau rayonnement ou de *rayons secondaires*. A leur tour, ces rayons secondaires sont susceptibles de subir une dissémination analogue et de donner naissance à des rayons tertiaires.

Ce phénomène ne constitue pas une simple diffusion : il se produit en même temps une transformation des rayons incidents. Les rayons secondaires sont moins pénétrants que les rayons primaires qui les ont produits.

Les rayons secondaires possèdent la plupart des propriétés des rayons de Röntgen. Comme ceux-ci, ils agissent sur les couches photographiques et provoquent la luminescence des platinocyanures et la décharge des corps électrisés. L'une ou l'autre de ces propriétés peut être appliquée à leur étude.

Une expérience fondamentale démontre que les rayons secondaires résultent d'une transformation des rayons primaires : l'affaiblissement des rayons quand ils traversent une lame de métal ou autre est plus grand si la lame est placée sur le trajet des rayons secondaires que si elle est placée sur le trajet des rayons primaires. Les rayons secondaires sont donc moins pénétrants.

La transformation est très nette surtout avec les métaux lourds : plomb, mercure, nickel... elle est presque insensible avec les hydrocarbures, la paraffine, par exemple.

Les rayons secondaires se transforment à leur tour en rayons tertiaires. Ainsi une lame d'aluminium qui absorbe peu les rayons primaires, absorbe et transforme énergiquement les rayons secondaires émis par un miroir d'acier. Les rayons secondaires émis par les métaux lourds sont très absorbables et comparables à cet égard aux rayons X émis par les tubes mous.

L'action électrique des rayons secondaires augmente avec l'épaisseur du corps qui les émet, jusqu'à ce que cette épaisseur ait atteint une certaine limite : cette limite est d'autant plus grande que les rayons

incidents sont plus pénétrants. Cette circonstance tend à prouver que la masse entière du corps concourt à la transformation. En fait, une lame placée sur le trajet des rayons X émet des rayons secondaires par toutes ses faces.

Tout ce qui va suivre, se rapportera sauf indication contraire aux rayons secondaires émis par la face d'entrée des rayons X ou rayons antérieurs.

Comme il s'agit surtout de la comparaison entre les divers métaux, l'angle d'incidence des rayons X et l'angle d'émission des rayons secondaires n'ont pas d'importance essentielle, leur influence étant très sensiblement la même pour les divers métaux : en général, dans les expériences de M. Sagnac, ces deux angles étaient voisins de 45°.

Dans un faisceau de rayons X hétérogènes, c'est-à-dire inégalement pénétrants, une lame de métal M absorbe surtout ceux de ces rayons qui excitent particulièrement les rayons secondaires d'un miroir du métal M. Aussi l'émission secondaire d'un métal lourd est localisée dans une couche superficielle très mince, non pas parce que les rayons X ont perdu leurs propriétés après avoir traversé cette couche, mais parce que les rayons secondaires sont peu pénétrants.

La transformation ne présente d'ailleurs aucun caractère sélectif.

L'ordre dans lequel se rangent les métaux suivant l'intensité du rayonnement secondaire varie avec l'épaisseur d'air que doivent traverser les rayons secondaires : mais quand on diminue indéfiniment cette épaisseur, on obtient à partir d'un certain moment un ordre limite qui reste ensuite invariable. Ce phénomène est dû à la présence même de l'air et non à une action particulière de la distance, car il s'observe aussi quand on laisse la distance constante et qu'on raréfie l'air.

Les rayons secondaires sont hétérogènes, car l'affaiblissement qu'ils subissent en traversant un milieu, n'est pas une fonction exponentielle simple de l'épaisseur, comme il arrive pour un milieu homogène. Des filtrations successives atténuent cette hétérogénéité, sans la faire disparaître complètement.

Les rayons secondaires émis simultanément par un même corps présentent une échelle de pouvoirs de pénétration qui est très étendue pour certains éléments, par exemple, le fer, le nickel, l'étain, surtout le plomb et le platine.

On peut définir un coefficient de transformation en évaluant l'intensité des rayons primaires et secondaires d'après leur action électrique.

Soit t la durée de l'action de décharge des rayons secondaires d'une lame L qui fait passer le bord de la feuille d'or de l'électroscope de la division n_1 à la division n_2, quand une certaine lame A est placée sur le trajet des rayons X incidents. Soit t' cette durée, quand la lame A est placée sur le trajet des rayons secondaires.

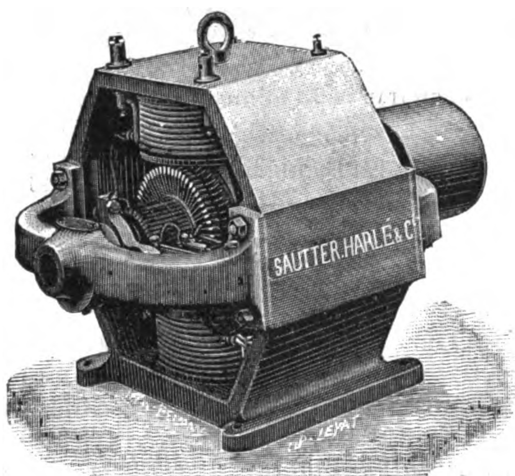
L'expérience montre que la durée t' n'est jamais plus petite que t et est généralement plus grande. La transformation en rayons secondaires S a donc diminué le pouvoir de pénétration des rayons incidents. Le coefficient $C = \frac{t'}{t} - 1$ caractérise le degré de transformation des rayons secondaires émis par la lame L : on peut l'appeler *coefficient de transformation*.

On peut aussi déterminer le temps t_0 nécessaire pour produire la même décharge avec les rayons S quand la lame A est supprimée. On appellera *coefficient de transmission* des rayons S à travers la lame A le quotient $\gamma_S = \frac{t_0}{t'}$.

Le quotient $\Gamma = \frac{t_0}{t}$ serait le coefficient de transmission de l'ensemble des rayons X, si l'émission des rayons secondaires était une simple diffusion sans changement des pouvoirs de pénétration.

Pour un certain nombre de métaux, M. Sagnac a trouvé un ordre limite des coefficients de transformation décroissants pour des épaisseurs d'air de plus en plus petites traversées par les rayons secondaires : cet ordre limite coïncide avec celui des activités électriques décroissantes.

Les éléments qui transforment notablement les rayons X communiquent cette propriété aux mélanges ou aux composés qui en renferment sans que l'état physique ni l'état de combinaison paraissent avoir grande influence. Ainsi l'oxyde cuivrique CuO et l'oxyde de nickel NiO, à l'état pulvérulent transfor-



SAUTTER, HARLÉ & Cie

26, avenue de Suffren, 26

PARIS

EXPOSITION UNIVERSELLE DE 1889

Hors Concours — Membre du Jury

ÉLECTRICITÉ

ÉCLAIRAGE — TRANSPORT DE FORCE

COMPAGNIE FRANÇAISE

DES

ACCUMULATEURS ÉLECTRIQUES

" UNION "

SOCIÉTÉ ANONYME

Capital : **CINQ MILLIONS**

—o—



" UNION "

SIÈGE SOCIAL

27, rue de Londres, PARIS

—o—

Usines à ***NEUILLY-SUR-MARNE*** *(Seine-et-Oise)*

Batteries de toutes puissances pour stations centrales, usines et installations particulières

BATTERIES POUR TRACTION ET LUMIÈRE. — BATTERIES TAMPON

CATALOGUE ENVOYÉ SUR DEMANDE

J. Ig. RUSCH, à DORNBIRN (Autriche)

Ateliers de Constructions mécaniques

Rep résentants : **GRIMONT et KASTLER, ingénieurs,**

67, boulevard Beaumarchais, PARIS

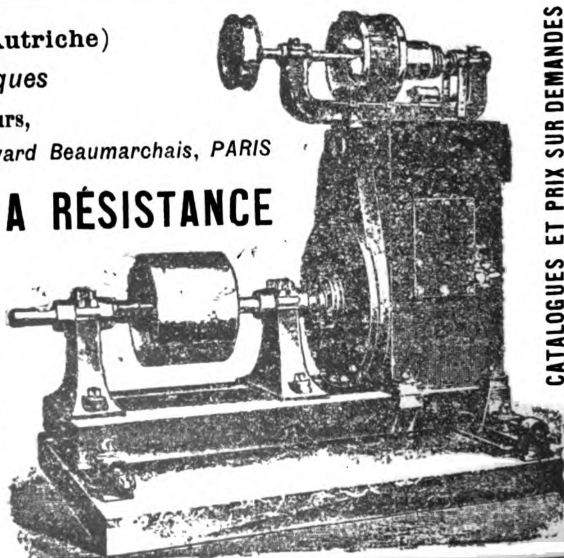
RÉGULATEURS HYDRAULIQUES A RÉSISTANCE

BREVETS RUSCH-SENDTNER

Ce régulateur règle la vitesse des moteurs hydrauliques par la m ise en fonction immédiate et automatique d'une résistan ce égale à la diminution intervenue de la force consom mée.

Garanties : 1° Les variations totales en nombre de tours d'une machine sont de 2 1/2 pour cent si l'on débraye la force totale que le régulateur a la charge de freiner et pour laquelle il a été établi ; de 1 1/2 pour cent seulement, si on ne débraye que la moitié de cette force ;

2° Perte maxima : 1 1/2 de la force du régulateur lorsqu'il marche à blanc et qu'il est accouplé directement sur l'arbre du moteur.



CATALOGUES ET PRIX SUR DEMANDES

ment les rayons X moins toutefois que le cuivre et le nickel métalliques.

L'activité d'un mélange ou d'une combinaison n'est pas liée à sa densité, parce que cette activité dépend surtout du composant le plus actif, tandis que la densité dépend davantage des deux éléments. L'activité se présente bien plutôt comme une propriété atomique; l'ordre des activités décroissantes est celui des poids atomiques décroissants non des densités.

L'activité secondaire dépend aussi des analogies chimiques et permet de déceler un petite proportion d'un élément assez actif disséminé dans un corps relativement peu actif par lui-même. C'est ainsi qu'on pourrait retrouver nettement 10 p. 100 de cuivre ajouté à un aluminium.

Il est indispensable quand on veut déterminer le coefficient de transmission pour les rayons X d'un certain corps A d'épaisseur définie de placer le récepteur assez loin du corps A pour que les rayons secondaires postérieurs ne puissent l'atteindre. Faute de cette précaution, on serait exposé à trouver des résultats singuliers, par exemple que l'effet des rayons X augmente par la transmission.

De même la considération du rayonnement secondaire permet de se rendre compte de la variation de la transparence d'un système d'écrans successifs avec l'ordre de ces écrans.

Elle permet aussi d'expliquer le phénomène de la décharge des corps électrisés, d'une manière plus complète qu'on n'avait pu le faire jusqu'alors. En effet, on comprend alors que l'action du métal n'est pas complètement définie comme le prétendait M. Perrin, par la nature du métal, la nature et la pression du gaz ambiant, l'intensité du champ électrique, la forme et l'étendue de la surface métallique, ce que d'ailleurs contredit l'expérience. Elle dépend aussi de l'épaisseur du métal et augmente avec cette épaisseur, ainsi qu'avec le volume d'air soumis à l'action des rayons secondaires.

La décharge par les rayons de Röntgen et par les rayons secondaires est symétrique, c'est-à-dire qu'elle porte également sur l'électrisation positive et sur l'électrisation négative. Dans certaines expériences, on observe bien une dissymétrie, mais cette dissymétrie s'explique facilement par les propriétés du champ électrique, sans l'attribuer à l'action même des rayons. Les phénomènes en question paraissent dus à un flux de charges électriques, qui, animées de certaines vitesses, ne suivent plus les lignes de force électriques recourbées aboutissant aux bords des ouvertures de la cage de l'électroscope et pénètrent à l'intérieur de la cage. Ce *bombardement* serait de même nature que les rayons cathodiques à la vitesse près. D'autre part Lenard a décrit récemment des rayons ultraviolets, qui comme les rayons de Röntgen et les rayons secondaires déchargent les corps électrisés positifs ou négatifs, sans l'intervention d'un conducteur solide : ils agissent directement sur la masse du gaz. Dans leur mode de propagation et d'absorption, ces rayons de Lenard présentent aussi des propriétés analogues à celles des rayons de Röntgen et des rayons secondaires.

D'autre part ces derniers se rapprochent aussi à certains égards des rayons cathodiques de Lenard que l'air atmosphérique diffuse énergiquement. Les rayons secondaires émis par les métaux lourds sont électrisés négativement (P. Curie et G. Sagnac).

mandes, qui possède un matériel spécial pour la production du courant et qui doit, par suite, avoir ce courant à un prix plutôt plus élevé, donne pour 1898 le prix de 0,044 fr par heure d'allumage avec des lampes de 12 bougies, alors que le prix de l'éclairage au gaz riche lui coûte 0,056 fr pour la même quantité. En 1898, sur 1 723 voitures de chemins de fer appartenant aux postes allemandes, 1 108 possédaient l'éclairage électrique ; ce nombre est monté actuellement à 1 476.

Au chemin de fer Jura-Simplon, la dépense par bougie-heure, d'après un calcul du docteur Büttner, est de 0,0044 fr.

M. Sartiaux donne, pour le chemin de fer du Nord français, le chiffre de 0,029 fr par heure d'éclairage pour lampes de 10 bougies. On peut donc admettre que l'éclairage électrique des trains, s'il est effectué sur une échelle un peu grande, n'est pas plus cher que l'éclairage au gaz.

Les divers systèmes d'éclairage électrique des trains peuvent se classer comme il suit :

1° Eclairage au moyen de dynamos et d'accumulateurs auxiliaires, cette classe pouvant être subdivisionnée en :

a) Commande de la dynamo par un moteur à vapeur spécial placé dans une voiture du train ;

b) Commande de la dynamo par l'essieu d'une des voitures du train ;

2° Eclairage par accumulateurs seulement avec les subdivisions suivantes :

c) Les accumulateurs étant rechargés hors des voitures dans des stations spéciales ;

d) Les accumulateurs étant rechargés rapidement dans le train même.

Chacun de ces divers systèmes peut naturellement s'appliquer à l'éclairage d'un train complet comme à celui d'une seule voiture.

Le système désigné par *a* peut s'employer seulement dans le cas d'un train de voitures parcourant de grandes distances avec peu d'arrêts, et traversant éventuellement des pays différents, comme c'est le cas des trains impériaux autrichiens ou russes, dans lesquels un fourgon contient les appareils producteurs du courant, lequel est distribué par des conducteurs qui vont le long du train. Les autres voitures portent des batteries d'accumulateurs pour suppléer les dynamos et servir de régulateurs. Ce système a été essayé aussi sur quelques lignes anglaises et américaines, mais a été abandonné comme étant trop coûteux.

Sur le chemin de fer sibérien, on a introduit, à titre d'essai, une disposition dans laquelle une voiture du train porte une chaudière à vapeur et une turbine Laval actionnant une dynamo. Ce système ne peut trouver son application que dans des cas spéciaux.

Le système *b* a été essayé d'abord en Angleterre, puis en Allemagne et les expériences ne lui ont pas été favorables ; aussi n'a-t-il pas été appliqué pratiquement.

La dynamo actionnée par l'essieu était placée dans une voiture qui devait envoyer le courant à tout le train et il fallait une batterie d'accumulateurs pour opérer l'éclairage pendant les arrêts. On a essayé en Allemagne en 1886 sur les chemins de fer wurtembergeois et en Autriche les systèmes de Löbbecke et du professeur Dietrich, qui rentrent dans cette catégorie. Les mécanismes pour rendre l'intensité de l'éclairage indépendante de la vitesse de marche du train étaient si compliqués que ces systèmes n'ont pas reçu d'applications.

Pour rendre le principe susceptible d'un emploi pratique, il fallait trouver des dispositions ne présentant pas ces inconvénients. C'est sur ce programme que furent imaginés les systèmes Stone, Auvert, Moscowitz, Vicarino et Dick. Dans le premier, la dynamo est suspendue à l'intérieur du châssis de la voiture de manière à pouvoir osciller ; elle est commandée par l'intermédiaire d'une courroie par un des essieux. La voiture porte aussi une batterie d'accumulateurs qui fonctionne pendant les arrêts et tant que le train n'a pas acquis une vitesse déterminée. Dès que cette vitesse est atteinte, vitesse à laquelle la tension de la dynamo égale celle des accumulateurs, un régulateur à force centrifuge placé sur l'axe de la dynamo fait agir un interrupteur qui met la dynamo et les accumulateurs en circuit parallèle. Si la vitesse vient à augmenter encore, la tension de la dynamo augmente, la batterie se met en chargement, et l'éclairage est alimenté par la dynamo seule avec insertion dans le circuit d'un petit rhéostat. Enfin, si la vitesse vient à dépasser une certaine limite, et donne une tension dangereuse pour les accumulateurs et pour les lampes, la dynamo, par l'effet de son mode de suspension excentrique par rapport à l'essieu, se rapproche de celui-ci et la courroie commence à glisser sur la poulie de l'essieu de sorte que la tension ne peut plus augmenter et reste constante. Si on vient à changer le sens de la marche, les pôles se trouvent renversés par le moyen d'un commutateur.

On peut d'ailleurs régler de l'extérieur la tension de la courroie et, par conséquent, le travail de la machine par le moyen d'un volant à main. Ce système serait, d'après les dires de la maison Stone et Cie, largement employé en Angleterre et a reçu ensuite des applications dans l'Amérique du Sud, au Japon, en Australie et aux Etats-Unis. Pendant l'Exposition de Paris, trois voitures-restaurant, éclairées par le système Stone, sont venues de Wörgl, dans le Tyrol.

La Compagnie des chemins de fer Paris-Lyon-Méditerranée a construit, sur les indications d'un de ses ingénieurs, M. Auvert, une voiture dans laquelle la constance de la tension est obtenue d'une manière différente. Il y a aussi une batterie d'accumulateurs qui fournit le courant, quand le train est arrêté, aux lampes et au champ de la dynamo et qui, lorsque la vitesse augmente, vient automatiquement se coupler en parallèle avec la dynamo et, si la vitesse augmente encore, se met en chargement. Dans le circuit de la dynamo se trouve inséré un petit moteur en série dont l'armature est arrêtée par le moyen d'un frein spécial et commence à tourner seulement lorsque l'intensité maxima du courant est atteinte. La force contre-électromotrice du moteur abaisse ainsi la tension de l'appareil de sorte que celle des lampes reste constante. Pour le cas du changement de sens du mouvement de la voiture, l'interversion des pôles s'opère par un commutateur spécial.

Dans le système Moskowitz, la dynamo est actionnée par un plateau de friction avec mouvement différentiel par l'effet duquel la tension reste constamment à 40 volts pour les vitesses supérieures à 40 km à l'heure. La tension des lampes et des accumulateurs est de 30 volts ; la dynamo agit seule jusqu'à la vitesse de 30 km, où la tension est de 40 volts ; au delà les accumulateurs viennent en chargement. Un relais polarisé sert à l'inversion des pôles. Ce système est assez employé en Amérique.

Le système Vicarino ressemble, comme principe,

au système précédent, mais l'inversion des pôles, dans le cas de changement de sens de la marche, est obtenu par le moyen du déplacement automatique de 180° des collecteurs. Ces collecteurs sont fixés avec isolation sur un disque qui est entraîné dans le sens de la marche par un toc.

Ce système est en essai au chemin de fer du Midi.

Le système Dick était en principe destiné à l'éclairage des trains complets, mais il semble trouver actuellement son application également à l'éclairage des voitures isolées. La commande de la dynamo se fait par une transmission à engrenages. Jusqu'à ce que la vitesse du train dépasse 20 km, la dynamo alimente la batterie et les lampes, tandis que, dans les autres cas, les accumulateurs fournissent le courant d'excitation et le courant des lampes.

Les appareils régulateurs sont : un régulateur pour la dynamo, un interrupteur, un commutateur et un relais ; ils fonctionnent tous automatiquement. Le régulateur de la dynamo sert à faire varier l'excitation de la machine avec la vitesse du train ; l'interrupteur a pour objet de mettre la machine en dehors du circuit ou de l'y faire entrer, selon que la vitesse est inférieure ou supérieure à 20 km. Le commutateur sert à renverser les pôles lors du changement de sens de la marche.

Quand les accumulateurs sont chargés et quand ils ont atteint une tension de 2,5 volts par élément, le relais entre en fonctionnement ; il agit sur le régulateur de la dynamo pour abaisser la tension et empêcher une charge ultérieure des accumulateurs. Ce système est employé en Autriche.

Malgré cela, l'emploi des accumulateurs seuls se répand ; il est employé sur une grande échelle, en Italie, et l'avenir lui semble réservé. Pour les trains complets, on dispose dans l'une des voitures extrêmes ou dans les deux des batteries d'accumulateurs qui fournissent l'éclairage à tout le train.

Une grande installation de ce genre est en service sur les chemins de fer suédois entre Christiania et Helsinsborg ; ce système est aussi employé en Danemark. Avec les trains légers ou locaux, une seule voiture est munie d'accumulateurs.

Si on adopte le système de l'éclairage indépendant des voitures, chacune d'elles porte une ou plusieurs batteries, selon le nombre de lampes et la durée du parcours. Jusqu'à ces dernières années, il était nécessaire d'enlever des voitures les accumulateurs déchargés et de les envoyer charger dans des stations spéciales. Aujourd'hui, à la suite des progrès réalisés dans la construction des accumulateurs, on peut charger en deux heures et même moins des accumulateurs pouvant donner 30 à 36 heures de fonctionnement ; on n'a plus, dès lors, besoin d'enlever les batteries déchargées des voitures pour les remplacer par des fraîches.

RÈGLEMENTS

Circulaire ministérielle relative à la création de l'office national des brevets d'invention et des marques de fabrique et à la publication des brevets. — Le ministre du commerce, de l'industrie, des postes et des télégraphes, a adressé aux préfets la circulaire suivante en même temps que l'arrêté reproduit dans le numéro du 5 octobre, p. IX.

La loi du 9 juillet 1901, qui a institué un office national des brevets d'invention et des marques de fabrique, a réalisé des réformes qui étaient depuis longtemps réclamées par tous ceux que préoccupent les questions de propriété industrielle en France.

Vous savez quelles considérations m'ont déterminé à proposer au Parlement de décider la création de cette nouvelle institution. La convention internationale du 20 mars 1883, pour la protection de la propriété industrielle portait que chacun des Etats contractants s'engageait à établir un service spécial de la propriété industrielle et un dépôt central pour la communication au public des brevets d'invention, des dessins ou modèles industriels et des marques de fabrique.

Le service de la propriété industrielle a fonctionné, jusqu'ici, dans les bâtiments du ministère du commerce et de l'industrie. Il constituait un simple bureau créé au ministère en 1882 et qui était rattaché à la direction du commerce et de l'industrie. Mais les conditions dans lesquelles était installé ce service étaient défectueuses et incommodes pour le public. D'une part, son éloignement du centre des affaires entraînait pour les intéressés des pertes de temps appréciables. D'un autre côté, l'exiguïté des locaux était souvent un obstacle à la prompte communication des documents demandés, le nombre des brevets d'invention délivrés chaque année allant sans cesse en augmentant et atteignant aujourd'hui le chiffre de 13 000.

L'organisation du service, qui était resté jusque dans ces derniers temps ce qu'il était en 1882, ne répondait donc plus, en France, aux besoins constatés de l'industrie et du commerce, et il devenait de jour en jour plus urgent de l'améliorer et de le compléter, en créant à Paris, dans le quartier des affaires, un service spécial de la propriété industrielle.

La France, à qui revient l'honneur d'avoir, une des

premières, établi une législation complète des brevets d'invention et qui n'a jamais négligé l'étude des moyens propres à assurer à la propriété industrielle la protection la plus efficace, par des ententes et des unions internationales, ne pouvait rester plus longtemps en arrière.

Des institutions autonomes spéciales aux services de la propriété industrielle existent déjà à l'étranger depuis un certain nombre d'années, et l'on ne saurait nier que ces institutions y ont été de précieux auxiliaires du développement du commerce et de l'industrie.

Il importait que les inventeurs et les industriels français pussent rencontrer chez nous autant de facilités que leurs concurents à l'étranger. Il fallait notamment créer, conformément à l'article 12 de la convention internationale du 20 mars 1883, un dépôt central pour la communication des brevets, des dessins et des marques de fabrique, dont le public devait prendre précédemment connaissance, suivant le cas, soit au ministère du commerce, soit au Conservatoire national des arts et métiers.

C'est, en effet, le Conservatoire des arts et métiers qui était désigné par l'article 26 de la loi du 5 juillet 1844 pour recevoir et pour conserver les originaux des descriptions et dessins des brevets qui sont arrivés à leur expiration. Au contraire, pendant la durée des brevets, c'est-à-dire durant une période de quinze ans, les descriptions, dessins, échantillons et modèles des brevets délivrés demeuraient déposés, en vertu de l'article 23 de la même loi, au ministère du commerce. Cette organisation constituait une véritable gêne pour le public. Les savants, les inventeurs, les commerçants et les industriels ont souvent autant d'intérêt à consulter les brevets périmés que les brevets en cours; il en résultait que la division des services obligeait les intéressés à des déplacements successifs et à des démarches multiples que leur eût évités la centralisation dans un même local de tous les documents concernant la propriété industrielle.

En l'état, la nécessité d'une organisation plus complète et mieux appropriée aux conditions toujours plus difficiles de la production nationale s'imposait d'autant plus que des institutions analogues s'étaient fondées à l'étranger et y avaient acquis un développement considérable. Grâce à des concours précieux que le Gouvernement a rencontrés auprès du Conservatoire national des arts et métiers et de la chambre de commerce de Paris, et qui ont été consignés dans la loi du 9 juillet 1901, la création du nouvel office a pu être réalisée dans les conditions les plus satisfaisantes.

Le Conservatoire national des arts et métiers, par sa situation dans un quartier central de Paris où l'industrie et le commerce occupent une place si considérable, était tout désigné pour être le siège de cette nouvelle institution. Un bâtiment spécial sera édifié dans cet établissement pour compléter les locaux déjà affectés au portefeuille industriel. Mais il ne sera pas nécessaire d'attendre l'achèvement des constructions nouvelles pour permettre à l'office des brevets d'invention et des marques de fabrique de manifester son existence et d'entrer en activité. Le Conservatoire ayant mis à la disposition de l'office des locaux provisoires, le transfert du service des brevets d'invention et des marques de fabrique y sera effectué dès le 15 septembre courant, et le nouvel office commencera à fonctionner à partir du 1er octobre. Toutes les communications concernant les brevets d'invention et les marques de fabrique, émanant tant des simples particuliers que des services publics, devront donc, à partir de la date du 15 de ce mois, être expédiées avec la suscription suivante : « A M. le ministre du commerce, de l'industrie, des postes et des télégraphes; — direction de l'office national des brevets d'invention et des marques de fabrique, au Conservatoire national des arts et métiers, 292, rue Saint-Martin, à Paris. »

Une autre réforme que la loi du 9 juillet dernier permettra de réaliser consiste dans la publication intégrale des brevets d'invention. C'est là une des améliorations qui ont été réclamées avec le plus d'insistance, à diverses

reprises, tant par les congrès internationaux de la propriété industrielle que par le Parlement. Comme on l'a fait remarquer, la publicité des brevets d'invention a été instituée, non seulement dans l'intérêt personnel des inventeurs, mais encore, à un point de vue plus général, pour favoriser les progrès de l'industrie. Elle doit mettre la société en mesure de mieux étudier les inventions nouvelles, soit pour en perfectionner les applications pendant la durée des privilèges, soit pour préparer leur exploitation après leur expiration. C'est la science elle-même qui est intéressée au plus haut degré à la publicité des brevets d'invention.

L'article 24 de la loi du 5 juillet 1844 prescrivait bien de publier soit textuellement, soit par extrait, les descriptions et les dessins des brevets d'invention après le payement de la seconde annuité. Mais les ressources affectées à cette publication n'avaient pas permis d'y donner, jusqu'à ce jour, tout le développement qu'elle comporte. La loi du 9 juillet, en ouvrant au budget les crédits nécessaires, vient d'écarter cette difficulté. Les brevets d'invention seront dorénavant publiés et vendus, à un prix très modéré, par fascicules séparés.

Afin de faciliter la reproduction des dessins d'une façon à la fois uniforme et économique, l'article 7 de ladite loi confère au ministre du commerce le soin de déterminer le format et l'échelle suivant lesquels ils devront être établis. Vous trouverez ci-contre le texte de l'arrêté, publié au *Journal officiel* du 5 septembre courant, que j'ai pris dans ce sens et dont les dispositions seront applicables à partir du 1er janvier 1902.

Telle est l'économie de la loi du 9 juillet 1901, en ce qui touche la propriété industrielle. Comme vous le voyez, elle n'a pas pour conséquence de modifier la loi du 5 juillet 1844 dans celles de ses dispositions qui prescrivent la délivrance des brevets d'invention sans examen préalable. Les congrès nationaux ont, en effet, toujours manifesté leur préférence pour ce régime, qui dispense l'Etat de garantir, soit la réalité, la nouveauté ou le mérite de l'invention, soit la fidélité ou l'exactitude de la description et qui laisse aux tribunaux de l'ordre judiciaire le soin de se prononcer sur toutes les contestations qui peuvent naître en matière de propriété industrielle.

La création du nouvel office et la publicité des inventions nouvelles constitueront, à n'en pas douter, une œuvre féconde pour le monde industriel. Aucun pays n'a plus que le nôtre le devoir de veiller avec sollicitude aux intérêts de ses inventeurs ; car c'est par le génie de ses savants, l'habileté de ses ouvriers qui ont consacré de tout temps sa réputation industrielle ; c'est par le développement et la constante application des intelligences de leurs facultés d'invention et de travail que l'industrie peut accomplir des progrès nouveaux et accroître la richesse nationale.

Je vous serai obligé de vouloir bien donner à la présente circulaire, ainsi qu'à l'arrêté y annexé, toute la publicité désirable, notamment en les faisant insérer dans le *Recueil des actes administratifs* de votre département. Vous devrez, en outre, faire afficher ledit arrêté, d'une façon ostensible, dans les bureaux du secrétariat général de votre préfecture, et les intéressés seront expressément invités à s'y conformer à partir du 1er janvier 1902.

SOCIÉTÉS INDUSTRIELLES

Informations. — The Westinghouse Companies nous informe que la compagnie américaine vient de recevoir commande de l'installation électrique du nouveau chemin de fer souterrain de New-York, commande s'élevant à environ 6 250 000 fr et comprenant des génératrices, excitatrices, commutatrices et transformateurs d'une puissance globale de 150 000 chevaux.

Les travaux d'infrastucture de la ligne sont à peu près terminés. L'énergie sera transmise par courants triphasés et distribuée par les sous-stations par courant continu. La longueur de la ligne dépassera 30 km, le nombre des stations sera de 48 ; les trains recevront le courant par un troisième rail central.

La Compagnie générale de constructions électriques (anciens ateliers Houry et Cie et Vedovelli et Priestley) vient de faire paraître la première partie de son catalogue d'appareillage électrique.

La Société universelle des émulseurs et moteurs a vapeur construit maintenant dans ses nouveaux ateliers d'Anzin les machines à vapeur Brunner. La description qui a été donnée dans les colonnes de ce journal (t. XXVI, p. 49, 12 janvier 1901) de la machine Brunner qui, à l'Exposition universelle, conduisait un alternateur Ganz, nous dispense de revenir sur ce sujet.

La Société continue également à construire le type de chaudière tubulaire à bouilleurs, dit semi-tubulaire, que construisaient les ateliers d'Anzin ; elle y a adjoint la construction d'un type de chaudière multitubulaire. Elle y applique les émulseurs Dubiau, décrits à deux reprises dans ce journal, et qui fonctionnent aujourd'hui en Europe sur plus de 1 200 chaudières.

Le groupement de ces machines et chaudières a permis d'obtenir des consommations de charbon par cheval heure indiqué extrêmement faibles : de 600 gr pour les groupes de 200 chevaux, 550 gr pour ceux de 560 chevaux et de 500 gr pour ceux de 1 300 chevaux.

La Société nouvelle des Etablissements Decauville aîné vient de publier un catalogue spécial de son matériel électromécanique, comprenant génératrices et moteurs blindés, réducteurs de vitesse et accessoires divers pour la commande électrique des machines-outils, appareils de levage, etc.

BIBLIOGRAPHIE

Il est donné une analyse bibliographique des ouvrages dont **deux** *exemplaires sont envoyés à la Rédaction.*

Congrès international d'électricité de 1900. Rapports et procès-verbaux, publiés par les soins de **E. Hospitalier**, rapporteur général. Un vol. in-8°, 526 pages. *Gauthier-Villars*, éditeur.

Dans ce volume sont reproduits les travaux de la Commission d'organisation, les rapports préliminaires présentés aux diverses sections, rapports qui pour la plupart ont été publiés l'an dernier dans *L'Eclairage Electrique*, les procès-verbaux des séances générales et séances de sections du Congrès.

Les mémoires présentés pendant le Congrès seront publiés en annexes, *in extenso* ou en analyse, dans un second volume actuellement en préparation.

Congrès international de mécanique appliquée. 3 vol. in-4° de 546, 94 et 300 pages avec nombreuses figures. *Ve Ch. Dunod* éditeur. Prix, chaque volume séparé, 25 fr, 3 fr et 14 fr ; ensemble, 40 fr.

Dans le premier de ces volumes, paru il y a déjà près d'un an, se trouvent rassemblés les rapports demandés par le Comité d'organisation du Congrès en vue de servir de bases aux discussions en séances. Nous y trouvons les rapports de M. V. Toussaint et M. J.-V. Dickie sur l'organisation des ateliers mécaniques ; sept rapports sur les laboratoires d'essais et les résultats d'essais effectués dans quelques-uns de ces laboratoires ; les rapports de MM. Delmas, E. Henry, A.-E. Kennelly sur les applications mécaniques de l'électricité ; une notice de M. Bassères sur les appareils de levage ; les rapports de M. Prazill et de M. Rateau sur les moteurs hydrauliques ; ceux de M. Durand et M. Brillié sur les chaudières ; celui de M. Lefer sur les machines à vapeur rapides et les turbines ; un autre de M. Lecornu sur les régulateurs ; trois mémoires de MM. Diesel, Donkin et Witz sur les moteurs à gaz ; enfin un rapport de MM. Rochet, Cuénot et Mesnager sur l'automobilisme.

Le second volume qui vient de paraître, contient les règlements et programmes du Congrès, la liste des membres et le compte rendu des séances tenues au Conservatoire des Arts et Métiers du 19 au 25 juillet 1900.

Enfin dans le dernier volume sont reproduites les communications faites en séances.

Beaucoup de ces rapports et communications intéressent les lecteurs de ce journal et nous regrettons de n'avoir pu, au moment où s'est tenu le Congrès, en donner une analyse comme nous l'avons fait pour les autres congrès où l'électricité était à l'ordre du jour ; la publication que vient de terminer la librairie Dunod leur permettra heureusement de prendre connaissance de l'ensemble des travaux.

L'Électricité à l'Exposition de 1900, publiée avec le concours et sous la direction technique de MM. **E. Hospitalier**, rédacteur en chef de *l'Industrie Electrique*, et **J.-A. Montpellier**, rédacteur en chef de *l'Electricien*, avec la collaboration d'ingénieurs et d'industriels électriciens. *Vve Ch. Dunod*, éditeur, 49, quai des Grands-Augustins, Paris, VIe. Prix de la collection entière, qui comprendra environ 15 fascicules, 50 fr.

Le 5e fascicule (8e livraison dans l'ordre d'apparition) intitulé *Canalisation et Appareillage*, par E. Hospitalier, et qui forme 67 pages grand format avec 111 figures, vient de paraître.

Dans la première partie, *Canalisation*, l'auteur passe en revue successivement les Conducteurs (cuivre, aluminium, divers), les Isolants (ambroïne, stabilite, opaline, etc.), les Lignes aériennes (poteaux), les Câbles (câbles isolés au jute, câbles à haute tension, câbles de fleuves et de mines) et enfin les Accessoires de canalisation (boîtes de jonction, de raccordement, de distribution).

La partie consacrée à l'*Appareillage* comprend les parties suivantes : Appareils de manœuvre (interrupteurs, commutateurs, inverseurs, etc.) ; Appareils de contrôle (indicateurs de tension, d'équilibre, etc.) ; Appareils de réglage (rhéostats, régulateurs automatiques, réducteurs) ; Appareils de sécurité (coupe-circuit, disjoncteurs, protecteurs, parafoudres).

Tome XXIX — Samedi 26 Octobre 1901. — 8e Année. — N° 43

L'Éclairage Électrique

REVUE HEBDOMADAIRE DES TRANSFORMATIONS

Électriques — Mécaniques — Thermiques

DE

L'ÉNERGIE

SOMMAIRE

Adresser tout ce qui concerne la Rédaction à M. J. BLONDIN, 171, Faubourg Poissonnière (9e arrondissement).

M. BLONDIN reçoit, 3, rue Racine, le jeudi, de 2 à 4 heures.

NOUVELLES ET ÉCHOS

Société des Ingénieurs civils. — A la séance du 4 octobre, M. F. Fouché a donné la description d'une installation d'un condenseur à surface avec refroidissement par l'eau, et M. G. Fiévé celle d'un conjoncteur disjoncteur pour la charge des accumulateurs et la mise en parallèle des dynamos.

Le condenseur décrit par M. Fouché, a été étudié en vue de réduire au minimum la consommation d'eau nécessaire à l'alimentation des chaudières d'une importante usine génératrice électrique, installée dans un district de l'Australie, où l'eau est tellement rare qu'elle est payée jusqu'à 25 francs le mètre cube ; le compte rendu de la séance, reproduit ci-dessous, donne d'intéressants renseignements sur son fonctionnement.

Quant au conjoncteur disjoncteur de M. Fiévé, nous en donnerons prochainement une description avec figures ; pour aujourd'hui nous nous bornerons à reproduire les considérations développées à ce propos par M. A. Bochet, sur les conditions que doivent remplir les conjoncteurs disjoncteurs.

Aéro-condenseur de 4 500 ch., de l'usine de Kalgoorlie (Australie). — M. F. Fouché dit que l'aéro condenseur dont il s'agit doit être installé à Kalgoorlie dans l'Australie occidentale. Il est destiné à condenser la vapeur des machines d'une importante station centrale d'électricité, de manière à utiliser l'eau pour l'alimentation des chaudières et en même temps produire au condenseur un vide aussi grand que possible.

Kalgoorlie, dont la production en or atteint actuellement 80 millions par an, est situé dans un pays où l'eau est très rare.

Cette ville possède un grand nombre de mines pourvues de machines puissantes ; le plus grand nombre de ces installations fonctionne dans des conditions médiocres, les machines sont à échappement libre ; le prix de l'eau a été de 25 francs le mètre cube en 1900.

La « Kalgoorlie Electric Power and Lighting Corporation Ld » s'est proposé de fournir aux usines la force motrice à meilleur prix qu'elles ne peuvent l'obtenir par leurs propres installations.

L'installation de sa première usine comprend trois machines verticales compound, dont la dépense totale est évaluée à 22 000 kg environ de vapeur par heure ; on estime qu'elles pourront fournir au maximum 4 500 chevaux.

L'aéro-condenseur comprend 27 ventilateurs à ailes en hélices, qui refouleront par heure deux millions de mètres cubes d'air sur les surfaces de condensation.

Ces surfaces sont composées de tôles d'acier ondulées de 1 mm d'épaisseur assemblées deux à deux par sertissage mécanique, de manière à former des plaques creuses ondulées. Ces plaques sont réunies en faisceaux par des macarons jointifs, emboutis dans les plaques mêmes, en même temps que les ondulations.

Les plaques sont serrées les unes sur les autres par deux boulons qui traversent les faisceaux. La suite des macarons formés dans chaque plaque produit deux canaux de distribution ; par l'un se fait l'entrée de vapeur et par l'autre la sortie de l'eau condensée.

On remarquera que ces surfaces ne sont exposées à aucune détérioration, car elles reçoivent à l'intérieur de l'eau légèrement grasse, qui n'est pas oxydante et à l'extérieur elles sont parcourues seulement par un courant d'air sec.

La pratique a montré que les plaques ainsi construites se conservent indéfiniment sans altération, si elles ne sont exposées, ni à la gelée, ni à la pluie.

Les ventilateurs tournent seulement à 300 tours, de telle façon que leur fonctionnement ne donne lieu à aucune usure.

L'appareil ainsi constitué n'exige donc, pour ainsi dire, aucun entretien et c'est là une considération extrêmement importante pour une installation de ce genre.

Dans cette installation, la question d'encombrement est tout à fait secondaire, car le prix du terrain n'est pas élevé ; elle n'a donc pas été étudiée en vue d'occuper peu de place.

D'autre part, la température élevée de l'air dans ce pays, a conduit à en faire circuler un très grand volume et par suite à donner aux ventilateurs des dimensions plus considérables qu'on ne le fait ordinairement.

Pour ces deux raisons, le volume des appareils est beaucoup plus élevé que dans les installations similaires ; il est de 570 m^3, soit 26 m^3 par 100 kg de vapeur condensée. Ce chiffre peut, dans d'autres conditions, être ramené à 8 m^3 par 1 000 kg de vapeur condensée par heure.

La vapeur des trois machines arrive par un tuyau de 60 cm de diamètre ; elle se distribue dans neuf séparateurs d'eau grasse et au sortir de ces appareils, elle se rend dans les faisceaux de plaques creuses. L'eau condensée dans ces plaques est extraite par trois pompes à air horizontales à clapets métalliques qui sont disposées pour pouvoir fonctionner, au besoin, en recevant de l'eau très chaude. Trois autres pompes aspirent l'eau grasse des séparateurs.

Dans ces pompes, comme dans les pompes à air, les garnitures de caoutchouc sont supprimées à cause de la quantité de graisse que contient l'eau et aussi à cause de la température qui peut, dans certains cas, s'élever à 80 et même 90°.

Toutes les eaux recueillies par les diverses pompes sont rejetées dans deux systèmes différents de filtres, le premier groupe de filtres reçoit les eaux provenant des condenseurs ; ces eaux sont presque complètement débarrassées de matière grasse et pourraient, à la grande rigueur, être employées directement à l'alimentation des chaudières, cependant, elles sont soumises à une infiltration méthodique dans des filtres à charbon de bois ; elles sont, au sortir de ces filtres, à peu près chimiquement pures et ne contiennent qu'une quantité de matière grasse excessivement minime.

Les eaux grasses extraites des séparateurs sont généralement rejetées à l'égout après séparation de la couche de graisse qui les recouvre, dans les installations que nous faisons en Europe, mais à Kalgoorlie, le prix élevé de l'eau a rendu nécessaire l'utilisation des 2 m³ d'eau que peuvent fournir chaque heure les séparateurs. Pour cela, ces eaux sont soumises à une filtration prolongée et méthodique sur des filtres à charbon et l'opération est terminée par une filtration sur des filtres à éponges.

On voit que de cette façon, toute l'eau provenant de la condensation de la vapeur des machines est recueillie et rendue utilisable par l'épuration que nous avons décrite.

L'emploi des séparateurs a pour but, dans le cas présent, de faciliter l'épuration totale de l'eau en en limitant à 8 ou 9 p. 100 le volume d'eau très chargé de matières grasses, tandis que 90 ou 92 p. 100 du volume total sont obtenus à l'état de pureté presque complète.

On peut alors faire subir à la première partie, à cause de son faible volume, une filtration très énergique et très efficace, comme nous l'avons indiqué, tandis que la partie principale ne subit, au contraire, qu'une filtration très légère.

Le travail prévu pour les vingt-sept ventilateurs et les dix pompes est de 120 chevaux.

Si la dépense des machines est de 6 kg de vapeur par cheval, le travail absorbé par la condensation sera donc de 3 p. 100 du travail fourni par les machines. Le vide obtenu dans les différentes périodes de l'année correspondra à une économie beaucoup plus grande que 3 p. 100.

D'après la température du pays le vide moyen, à pleine charge, sera de 0,40 m de mercure pendant le jour et de 0,52, pendant la nuit.

Conjoncteur-disjoncteur pour la charge des accumulateurs ou la mise en parallèle des dynamos. — M. Fiévé dit qu'il avait apporté un appareil de 250 ampères, mais cet appareil vient malheureusement d'être détruit par un accident.

Les anciens appareils de conjonction ou disjonction opérant souvent au moment d'une forte différence de potentiel et, avec un certain retard, il se produisait des chocs sur la dynamo, chutes de courroies, plombs fusibles sautant, etc...

M. A. Bochet dit que le conjoncteur-disjoncteur que vient de décrire M. Fiévé, est fort intéressant. Il a été étudié avec beaucoup de soin et renferme nombre de dispositions ingénieuses. M. Bochet croit cependant devoir présenter quelques observations sur l'appareil lui-même et sur l'extension de son emploi au couplage en parallèle des dynamos.

Il a été réalisé déjà bien des appareils analogues pleins d'ingéniosité et d'un fonctionnement remarquablement précis. Néanmoins, l'usage de ces appareils ne s'est pas développé, malgré des besoins réels. Cela tient aux inconvénients graves qui résultent de leur complication et de leur délicatesse.

L'emploi de contacts à mercure nécessite une surveillance et un entretien qu'on ne peut obtenir qu'exceptionnellement.

L'importance des effets d'hystérésis dans l'appareil de M. Fiévé, ne permet pas un fonctionnement précis. Préoccupé d'assurer une faible résistance magnétique à l'ensemble du système, notre Collègue a donné un grand développement et un volume considérable aux pièces de fer fixes ou mobiles qui constituent ce circuit magnétique. Il n'est pas possible d'obtenir, dans ces conditions, une action rapide et exacte basée sur des inversions ou des variations brusques de l'action magnétique.

Toutefois il n'y a pas impossibilité à atténuer pareil défaut et le principe de l'appareil de M. Fiévé répond bien aux nécessités du service des accumulateurs.

Mais son utilisation pour le couplage en parallèle des dynamos soulève de graves objections.

Le couplage en parallèle des dynamos à courant continu excitées en dérivation et même celui des dynamos compound ne présente aucune difficulté et cette opération est entrée depuis bien des années dans la pratique courante.

Le couplage est si aisé et les risques d'accidents tellement réduits que l'emploi d'appareils de sécurité peut, en bien des cas, être considéré comme superflu. Aussi, bien des installations, même des mieux soignées et des plus importantes, ne comportent aucun dispositif de sécurité spécial pour le couplage.

Mais dans le cas où des appareils de sécurité sont reconnus utiles pour cette opération, il importe que ces appareils remplissent leur fonction de manière sûre et complète.

Un appareil de ce genre doit satisfaire aux conditions suivantes :

1° Permettre le couplage de la dynamo qu'il dessert seulement lorsque cette machine a la même polarité et le même voltage que les machines avec lesquelles elle doit être mise en parallèle ;

2° Découpler automatiquement la dynamo, lorsqu'elle vient à recevoir des autres machines, pour une cause quelconque, un courant dont l'intensité est suffisante pour causer un danger ou un trouble dans le service. Il importe que ce découplage puisse se faire à tout moment, même à l'instant où le couplage vient d'avoir lieu.

La rupture du circuit au moment où le courant est nul n'a aucune utilité au point de vue de la sécurité et présente, au contraire, de sérieux inconvénients lorsque le débit de la station est soumis à de brusques et importantes variations. C'est le cas des distributions qui desservent des électromoteurs à charge variable ou des appareils d'utilisation dont le régime est irrégulier. On peut citer particulièrement le service des tramways et celui des navires de guerre où la commande électrique de l'artillerie, des diverses machines auxiliaires du bord et des projecteurs électriques, provoque des variations de débit énormes et très rapides.

Pour éviter en pareil cas des perturbations sérieuses dans le service, perturbations dont les conséquences peuvent être des plus graves, il faut que les machines génératrices ne se découplent qu'en cas de nécessité réelle, c'est-à-dire lorsque le courant qui vient à faire retour dans l'une des dynamos, atteint une certaine valeur fixée à l'avance.

Le découplage doit donc se faire avec un courant de retour ayant une intensité notable. Divers systèmes appliqués aujourd'hui sur un grand nombre de navires de guerre français ou étrangers, satisfont pleinement à cette condition que ne saurait remplir l'appareil de M. Fiévé, en raison de la présence de contacts à mercure. Ces contacts ne peuvent interrompre un courant de forte intensité dans les conditions où ils doivent fonctionner sur l'appareil, et le système ne permet pas l'application d'autres contacts.

Pour le service des tramways électriques, on a tourné jusqu'ici la difficulté en se contentant de disjoncteurs à maximum, c'est-à-dire d'appareils automatiques qui découplent les dynamos, lorsqu'elles sont traversées par un courant exagéré passant dans un sens ou dans l'autre. Mais on pourrait aussi bien appliquer, en ce cas, les appareils usités dans la Marine, si la nécessité en était reconnue.

En résumé, le principe de l'appareil de M. Fiévé convient bien pour le but principal qu'il s'est assigné c'est-à-dire pour le service des accumulateurs, et la pratique montrera si ce système est susceptible d'un bon usage. Mais il ne conviendrait pas d'en étendre l'emploi au couplage en parallèle des machines-dynamos.

M. G. Fiévé répond que l'appareil dont il s'agit a été plus spécialement étudié en vue du service de l'éclairage électrique qui ne présente pas, en effet, comme celui des tramways ou de la mise en marche de gros appareils de navires ou autres, des variations brusques et considérables. Il n'est donc pas étonnant qu'il ne réponde pas à une série complète de conditions très différentes et qui varient souvent avec chaque installation.

Cours d'électricité industrielle à la Fédération générale professionnelle des chauffeurs-mécaniciens-électriciens. — Les cours d'électricité industrielle organisés par la Fédération générale professionnelles des chauffeurs-mécaniciens-électriciens sont ouverts dans Paris et dans la banlieue depuis le 18 octobre 1900.

Les cours ont lieu dans l'ordre suivant :

Cours de 1re année. — *Mairie du IVe arrondissement.* Professeur : M. L. Hommen, ingénieur-électricien. Tous les mardis à 8 h. 1/2 du soir (22 octobre). — *Ecole des garçons*, 36, *rue Grange-aux-Belles* (Xe arrondissement). Professeur : M. Delassalle, ingénieur-électricien. Tous les mardis à 8 h. 1/2 du soir (29 octobre). — *Lycée Voltaire*, 101, *avenue de la République* (XIe arrondissement). Professeur : M. Soulier, ingénieur-électricien. Tous les vendredis à 8 h. 1/2 du soir (25 octobre). — *Ecole*, 40

boulevard Diderot (XIIe arrondissement). Professeur : M. Carol, ingénieur civil. Tous les samedis à 9 heures du soir (9 novembre). — *Ecole communale, rue de l'Ouest* (XIVe arrondissement). Professeur : M. Nissou, ingénieur-électricien. Tous les vendredis à 8 h. 1/2 du soir (18 octobre). — *Ecole des garçons*, 60, *rue Saint-Charles* (XVe arrondissement). Professeur : M. Jumau, ingénieur-électricien. Tous les vendredis à 8 h. 1/2 du soir. (18 octobre). — *Ecole*, 18, *rue Ampère* (XVIIe arrondissement). Professeur : M. Chéneveau, ingénieur-électricien. Tous les mercredis à 8 h. 1/2 du soir (23 octobre). — *Ecole*, 63, *rue Clignancourt* (XVIIIe arrondissement). Professeur : M. Clerbout, ingénieur. Tous les vendredis à 8 h. 1/2 du soir (15 novembre). — *Ecole*, 7, *rue Barbanègre* (XIXe arrondissement). Professeur : M. Godard, ingénieur. Tous les vendredis à 8 h. 1/2 du soir (18 octobre). — *Ecole des garçons, rue de Châteaudun, à Saint-Denis* (*Seine*). Professeur : M. H. Hommen, ingénieur-électricien. Tous les mercredis à 8 h. 1/2 du soir (23 octobre). — *Ecole communale*, *rue de la Liberté*, *à Vincennes* (*Seine*). Professeur : M. Emile Pavard, électricien. Tous les mardis à 8 h. 1/2 du soir (22 octobre). — *Ecole communale, rue Jean-Jacques-Rousseau, à Ivry* (*Seine*). Professeur : M. F. Hoffman, ingénieur-électricien. Tous les mardis à 8 h. 1/2 du soir (22 octobre). — *Ecole communale, rue Marjolin, à Levallois-Perret* (*Seine*). Professeur M. D. Augé, ingénieur-électricien. Tous les mardis à 8 h. 1/2 du soir (22 octobre). — *Mairie des Gobelins* (XIIIe arrondissement). Professeur : M. L. Chappaz, ingénieur-électricien. Tous les vendredis à 8 h. 1/2 du soir (18 octobre). — *Ecole des garçons, à Alfortville* (*Seine*). Professeur : M. Laforge, électricien. Tous les vendredis à 8 h. 1/2 du soir (8 novembre).

Cours d'électricité pratique de 2e année (*ouvert aux élèves ayant suivi avec succès les cours de 1re année*). — Exercices pratiques, manœuvres électriques, montage, installations, dynamos, tableaux de distribution : cours pratique à la *Mairie du IVe arrondissement*, le jeudi à 8 h. 1/2 du soir. Des exercices pratiques, mise en marche, réglage des machines auront lieu dans diverses usines, Professeur : M. J. Laffargue, ingénieur-électricien (24 octobre).

A la fin du cours de 1re année, la Fédération délivre des certificats aux élèves ayant satisfait aux examens théoriques. — A la fin de la 2e année, après examens pratiques, la Fédération décerne des diplômes d'électricien.

Pour tous renseignements, s'adresser à M. J. Laffargue, secrétaire général des cours d'électricité industrielle, 70, boulevard Magenta, à Paris.

GÉNÉRATION ET DISTRIBUTION

Dispositif pour la détermination du coefficient d'irrégularité d'une machine à vapeur. — Le *Génie Civil* du 12 octobre en donne, d'après l'*American Machinist*, la description suivante :

A côté du volant est monté ou sur l'arbre de la machine, ou sur un arbre indépendant, un deuxième volant plus petit, entraîné au moyen d'une bande de caoutchouc. Sur la circonférence de ce volant est fixé un crayon dont la pointe s'appuie sur un disque recouvert de papier; un système de courroie fait tourner ce disque autour de son axe lequel est fixé sur le premier volant.

Si le coefficient d'irrégularité était nul, le second volant entraîné par l'accouplement élastique finirait par prendre rigoureusement la même vitesse angulaire que le premier et le crayon, restant fixe par rapport à celui-ci, tracerait une circonférence régulière sur le disque en mouvement. Si le coefficient d'irrégularité n'est pas nul, le deuxième volant prend, par suite de son inertie, une vitesse angulaire pratiquement constante intermédiaire entre la vitesse minimum et la vitesse maximum du volant de la machine; il en résulte un déplacement relatif du crayon par rapport à l'axe du disque et l'on obtient sur celui-ci une ligne dentelée dont les dents permettent d'évaluer le coefficient d'irrégularité.

Nos confrères n'indiquent pas quel résultat a donné ce dispositif, ni même s'il a été expérimenté.

Pour notre part nous doutons fortement qu'il soit assez sensible pour permettre d'apprécier une variation de vitesse de 1/200e de la vitesse normale et surtout qu'il soit assez précis pour permettre de mesurer la valeur de cette variation avec suffisamment d'exactitude. Il nous a paru cependant intéressant de le signaler, aujourd'hui que la mesure du coefficient d'irrégularité est une des préoccupations des ingénieurs électriciens.

Magnéto Holtzer-Cabot pour l'allumage de moteurs. — Cette magnéto, introduite en France par MM. Cadiot et Cie, se construit suivant deux types : l'un à aimant horizontal représenté par la figure ci-jointe ; l'autre à aimants verticaux, de plus faible encombrement et plus particulièrement destiné aux moteurs d'automobiles.

Ces machines sont caractérisées par leur robustesse et les précautions prises pour mettre l'armature à l'abri des poussières. Leur vitesse de régime est de 1500 à 2000 t. : m et peut atteindre 3000 t. : m sans autre inconvénient qu'une usure plus rapide des parties tournantes.

A la vitesse de 2000 t. : m elles fournissent un courant de 2 à 3 ampères sous 10 à 15 volts. Ce courant alimente une bobine de Ruhmkorff dont le secondaire est relié à la bougie d'allumage.

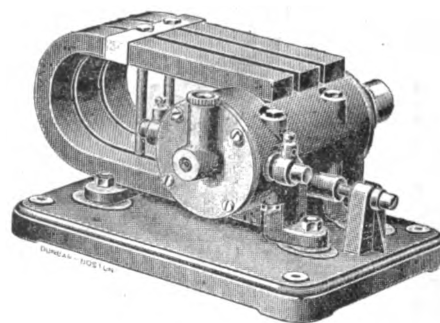


Fig. 1.

Pour la mise en marche deux procédés peuvent être employés. L'un consiste à munir la machine d'un train d'engrenages permettant de lui donner au moyen d'un volant à main une vitesse angulaire suffisante pour obtenir le courant nécessaire au fonctionnement de la bobine et par suite de l'allumeur. L'autre consiste à employer une batterie d'accumulateurs qui est mise hors circuit à l'aide d'un commutateur dès que le moteur et la magnéto qui y est accouplée ont pris leur vitesse de régime ; dans ce dernier cas la batterie d'accumulateurs peut être chargée par la machine magnéto elle-même lorsque sa vitesse est suffisante ; la charge n'a pas d'ailleurs besoin d'être répétée bien souvent, l'énergie électrique empruntée à la batterie étant toujours très faible, puisque celle-ci ne sert que pendant quelques instants aux démarrages.

Transmission d'énergie de la vallée de Mexico. — Dans le *Génie Civil* du 12 octobre, M. Pinson donne de cette installation une étude détaillée d'où nous extrayons les renseignements suivants :

L'énergie est fournie par deux rivières : le rio de Monte-Alto et le rio de Tlalnepantla, sur chacune desquelles sont construites trois usines génératrices utilisant respectivement des chutes de 150 m, 120 m et 60 m de la première rivière et des chutes de 170 m, 90 m et 60 m de la seconde. L'une de ces usines, celle qui utilise la chute de 60 m du rio de Monte-Alto, est destinée uniquement à la fourniture d'énergie d'une fabrique de tissus de laine située à San Ildefonso, à environ 5 km de distance ; elle comprend deux groupes électrogènes de 340 chevaux chacun composés d'une roue Pelton accouplée à un alternateur à courants triphasés de 3000 volts. Les cinq autres usines, d'une puissance globale de 3600 chevaux sur l'arbre des turbines à l'étiage, servent à l'alimentation du réseau d'éclairage et de force motrice de Mexico, situé à une distance moyenne de 25 km.

Usines génératrices. — Les canaux de dérivation, quoique établis dans les conditions les plus économiques, ont nécessité d'assez nombreux ouvrages d'art. Les conduites forcées ont un diamètre, constant pour une même chute, mais variable de 1 m à 1,20 m de l'une à l'autre, valeur assurant une vitesse de l'eau de 1 m : sec à pleine charge ; l'épaisseur de tôle varie de 3,2 mm à 15,9 mm ; aucun dispositif n'a été prévu pour la dilatation, et la pratique a montré qu'il n'y en avait pas besoin.

Les usines génératrices des chutes de 150 m et 120 m du rio de Monte-Alto, qui portent les noms de Villada et Fernandez Leal, contiennent chacune : 5 groupes électrogènes de 225 kw formés d'une turbine Piccard et Pictet accouplé par un manchon Raffard à un alternateur Westinghouse donnant, à la vitesse angulaire de 530 t : m, des courants diphasés à 440 volts et à la fréquence 50 ; 2 groupes excitateurs composés d'une roue Pelton et d'une dynamo de 22,5 kw à 125 volts ; 6 transformateurs Scott de 225 kw transformant les courants diphasés, 440 volts, en courants triphasés 22 000 volts ; un tableau de distribution comprenant cinq panneaux pour les génératrices, deux pour les excitatrices, un pour les wattmètres et un pour le couplage en parallèle de la station avec les autres ; des parafoudres du système Wurtz, qui, pendant la saison orageuse durant 4 à 5 mois, ont souvent à fonctionner.

L'usine La Alameda qui utilise la chute de 170 m du rio Tlalnepantla contient 4 groupes électrogènes semblables. Les deux autres usines des chutes de 90 m et 60 m du même rio, appelées Chiluca et Madin, contiennent respectivemsnt 3 et 2 groupes. Le tableau de l'usine de Madin porte un panneau supplémentaire de wattmètres permettant de lire, d'une part la puissance provenant des usines du rio de Monte-Alto, d'autre part celle des usines en amont de Madin sur le rio de Tlalnepantla.

Lignes. — Deux lignes à trois fils de 4,8 mm de diamètre relient chaque usine à la suivante puis à l'usine de Madin ; ces lignes ont une longueur totale de 29 km. Ces lignes sont montées sur poteaux en fer en trois tronçons, espacés de 40 m environ et pesant 175 kg ; au sommet de chaque poteau sont fixées, au moyen de brides, deux traverses en bois munies d'isolateurs en porcelaine à triple cloche formant les sommets de deux triangles équilatéraux de 60 cm de côté.

Deux lignes à trois fils relient l'usine de Madin à Mexico. Primitivement ces deux lignes étaient montées comme les précédentes. Des bris d'isolateurs dus à la malveillance ayant montré la nécessité d'avoir deux lignes tout à fait distinctes, on installa l'une d'elles suivant un parcours un peu différent sur poteaux de pin rouge avec une seule traverse supportant deux fils, le troisième fil étant porté par le sommet du poteau ; les isolateurs sont en verre à triple cloche. On a en même temps modifié l'ancienne ligne en plaçant l'un des trois fils restants au sommet des poteaux. Les fils de l'ancienne ligne ont 6,3 mm de diamètre et une longueur de 14 km ; ceux de la nouvelle ont 15 km de longueur et, pour n'avoir que la même résistance que les précédents, ils ont 6,54 mm de diamètre sur 6,2 km.

Usine réceptrice. — Située dans la partie ouest de Mexico elle comprend : 12 transformateurs de 25 kw ramenant à 2 600 volts la tension qui est d'environ 20 000 volts à l'arrivée ; un groupe de transformation composé de 3 transformateurs Westinghouse de 150 kw abaissant la tension de 2 600 à 400 volts et d'une commutatrice Westinghouse donnant du courant continu à 350 volts ; une batterie d'accumulateurs chargée par le groupe précédent et qui à certaines heures alimente au contraire ce groupe pour donner du courant alternatif ; un groupe électrogène à vapeur composé de 4 chaudières Babcok et Wilcox, d'une machine Borsig de 500 chevanx, d'un alternateur Westinghouse donnant des courants triphasés à 2 600 volts et d'une excitatrice actionnée par un petit moteur à vapeur (un second groupe électrogène semblable a été prévu) ; enfin les divers appareils de réglage et de sécurité.

Parmi ces derniers signalons des coupe-circuits tripolaires automatiques pour 20 000 volts. Ces coupe-circuits fonctionnent lorsque, par suite d'un court-circuit ou autre accident, le courant devient anormal ; ils fonctionnent également lorsque le courant de l'une des lignes tend à se renverser par rapport à la force électromotrice. Le principe de ce fonctionnement est le suivant : un wattmètre, mis en mouvement par des transformateurs shunt et série actionne un déclenchement ; l'un de ces transformateurs-série a un enroulement secondaire et deux primaires, chacun de ces derniers étant connecté en série avec les phases correspondantes des deux circuits triphasés ; tant que les courants sont en phase il n'y a aucun courant dans le secondaire, mais, lorsque par suite d'accident le courant de l'une des lignes change de sens, il passe un courant dans le secondaire, le wattmètre dévie et produit le déclenchement. Ce déclenchement peut d'ailleurs être réglé de manière que la rupture du circuit n'ait lieu qu'après un intervalle de temps variable de une à dix secondes de manière qu'un renversement de courant momentané n'agisse pas.

Distribution. — Le réseau primaire, à 2 600 volts, est aérien dans les faubourgs, souterrain dans la ville ; la partie aérienne a 18 km de développement, la partie souterraine 50 km.

La distribution secondaire se fait par courants biphasés avec quatre fils à 240 volts, pour la force motrice ; on connecte au milieu des secondaires un cinquième fil et on a réalisé ainsi avec les quatre fils précédents deux systèmes à courants alternatifs simples à trois fils présentant deux à deux une différence

de potentiel de 120 volts ; ces deux systèmes servent à l'éclairage.

Le prix moyen de l'énergie destinée à l'éclairage est de 0,75 fr le kilowatt-heure ; pour la force motrice, il varie de 0,20 fr à 0,075 fr le kilowatt-heure suivant la puissance. Il y a actuellement de nombreux moteurs en fonctionnement dont plusieurs de 75 chevaux (les moteurs d'une puissance supérieure à 5 chevaux sont généralemenl branchés directement sur le réseau primaire) ; les progrès sont tels que l'on prévoit, pour 1902, l'augmentation de production d'énergie au moyen de barrages-réservoirs ou de nouveaux groupes de générateurs à vapeur.

APPLICATIONS THERMIQUES

Réparation des chaudières d'évaporation par soudure électrique. — Dans son numéro du 5 octobre, notre confrère l'*Electricien* signale, d'après l'*Elektrotechnische Zeitschrift* une application de la soudure électrique à la réparation des chaudières de fonte.

Ces chaudières, qui servent à l'évaporation des lessives de soude dans une fabrique de soude caustique, s'étant trouvées fortement corrodées, on tenta de les réparer au moyen de rivets de formes spéciales remplaçant les parties corrodées ; on n'obtint ainsi aucun résultat durable : les corrosions s'agrandirent et les rivets se détachèrent. On eut alors recours à la soudure électrique que l'on exécuta comme il suit.

Après avoir nettoyé les rebords des perforations, on boucha l'ouverture par l'insertion d'un rivet, en enlevant l'excès de métal, et on enduisit la partie à traiter d'une bouillie de borax. On réunit alors la chaudière au pôle positif d'une dynamo pouvant donner 400 ampères sous 125 volts ; le pôle négatif fut relié à un support en cuivre en forme de tenailles pourvu d'une poignée en bois et d'un écran protecteur en amiante ; un rhéostat liquide était introduit dans le circuit. Les choses ainsi disposées, on plaça entre les mâchoires des tenailles un morceau de fonte que l'on mit en contact avec la partie endommagée et l'on fit passer le courant. La pièce de fonte fondit très rapidement et le liquide se répandit sur la partie avariée de la chaudière. La température de soudage atteinte, on martela légèrement pour faire crever les petites bulles qui s'étaient formées dans le métal fondu. Une fois le travail achevé, on constata que la soudure était lisse et solide, sans transition appréciable entre l'ancien et le nouveau métal. Depuis, on n'a constaté aucune nouvelle perforation ; les parties soudées ne présentent pas plus d'usure que les autres parties de la chaudière.

L'exécution de ce travail montra une fois de plus qu'il est indispensable de protéger l'épiderme contre les effets des arcs intenses. Tout d'abord on se borna à protéger les yeux des ouvriers au moyen de lunettes à verres d'un rouge foncé ; la peau du visage et des mains fut fortement brûlée au point de se détacher d'elle-même au bout d'une journée après de vives douleurs ; de plus les ouvriers furent pris d'un tremblement de tout le corps qui durait plusieurs heures. On donna alors aux ouvriers un casque muni de verres noircis et des gants ; il n'y eut plus d'accidents de l'épiderme, toutefois le tremblement se manifesta de nouveau, mais avec moins de violence.

ÉCLAIRAGE

Sur la lampe à arc Bremer. — Depuis sa présentation à l'exposition de 1900, la lampe Bremer a donné lieu à d'intéressantes recherches. A la dernière séance de la Société internationale des Électriciens, M. Laporte a fait connaître les résultats des essais qu'il a entrepris sur cette lampe et un résumé de sa communication a été publié ici (*Écl. Élect.*, t. XXVIII, p. 110, 20 juillet 1901). Tout récemment, M. A. Bainville a fait paraître, dans les colonnes de notre confrère l'*Électricien* (5 octobre, p. 213), l'article reproduit ci-dessous où il rapporte les résultats des observations qu'il a faites sur son fonctionnement.

Aux cours des essais significatifs auxquels nous l'avons soumise, nous avons pu constater que cette lampe présente des qualités réellement intéressantes.

Sa conception repose sur un ensemble de principes déjà connus et appliqués dans différentes lampes antérieures ; mais son originalité, qui semble néanmoins indiscutable, est due à l'heureuse adaption de ces principes.

La lampe Bremer possède deux qualités essentielles : elle donne un rendement lumineux très élevé, et la lumière qu'elle émet a une coloration jaune très favorable.

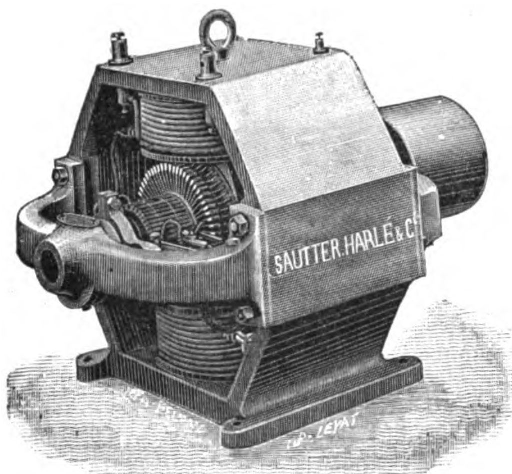
Ces qualités, qui ont été signalées jadis par Gauduin, Archereau et Carré, sont dues à l'emploi de charbons de composition spéciale contenant une forte proportion de sels métalliques dans une lampe d'une construction qui rappelle celle de la lampe Gérard, de 1879.

En principe, cette lampe consiste en un arc, allongé par soufflage magnétique, qui est fixé par l'action du champ à l'extrémité des charbons disposés en V, la pointe en bas ; l'extrémité de ces charbons étant placée à l'intérieur d'un cône réflecteur.

Les premières lampes construites par M. H. Bremer étaient à deux paires de crayons, comme la lampe Napieff ; mais ce modèle paraît avoir été abandonné par l'inventeur, tout au moins pour des types de moyenne puissance lumineuse.

Une petite lampe marchant à 1 ampère, d'après l'inventeur, représentait à l'Exposition ce type dont le mécanisme est très simple, mais dont les deux crayons sont assez difficiles à placer.

Dans le modèle que nous avons soumis à des essais, il n'y a que deux crayons, inclinés l'un par rapport à l'autre de 30° environ. Ces crayons sont guidés par deux tubes dans lesquels ils coulissent sous l'action de deux poids qui glissent eux-mêmes dans les tubes et restent constamment en contact avec les crayons. Le mouvement de descente est arrêté par un frein à deux patins qui pénètre dans une fente ménagée sur une partie de la longueur des tubes de guidage et par une butée constituée par une petite pièce métallique, facile à remplacer, fixée à l'extrémité d'un bras mobile. Le frein, dont la pression peut être réglée à l'aide de ressorts de tension, est manœuvré par un électro-aimant dans lequel le courant est envoyé par un relais toutes les fois que la différence de potentiel aux bornes de l'arc est supérieure au régime fixé. Le mouvement du frein actionne mécaniquement la butée qui vient se pré-



SAUTTER, HARLÉ & Cie

26, avenue de Suffren, 26

PARIS

EXPOSITION UNIVERSELLE DE 1889

Hors Concours — Membre du Jury

ÉLECTRICITÉ

ÉCLAIRAGE — TRANSPORT DE FORCE

PIRELLI & Cie, MILAN



GRAND PRIX
PARIS
1900

Société pour l'exploitation générale
Du Caoutchouc, de la Gutta-Percha et Similaires

FILS ET CABLES ÉLECTRIQUES ISOLÉS

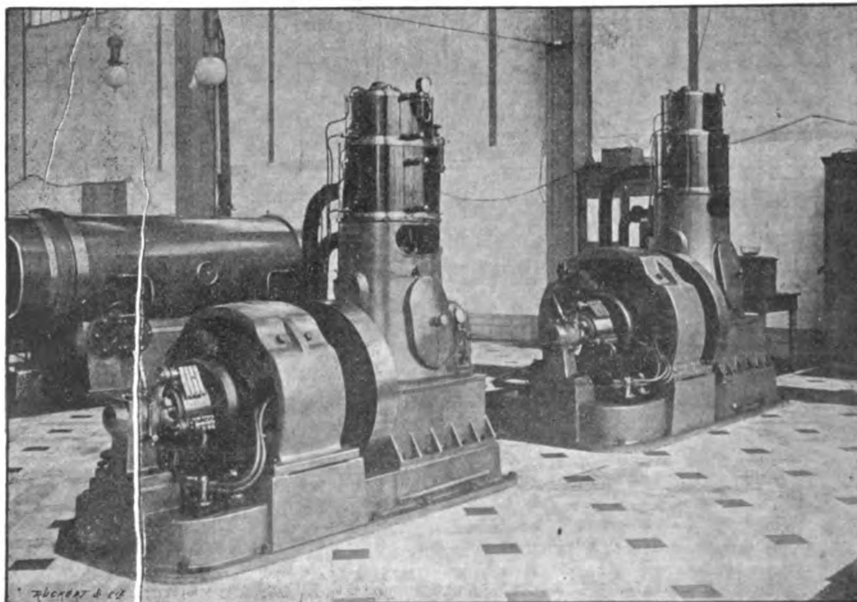
Siège social et Usine principale à MILAN

Usine succursale pour la construction des câbles sous-marins SPEZIA

CABLES SOUTERRAINS ET SOUS-MARINS

***CABLES TÉLÉPHONIQUES* avec isolement de papier à circulation d'air**

Station électrique du Chemin de fer d'Orléans



Groupes Électrogènes "BL"

à graissage sous pression
et à haut rendement

158 Machines
en fonctionnement
de 10 à 500 chevaux

Ateliers de construction

Boulte, Larbodière
ET Cie

20, rue Taitbout
PARIS

Ateliers à **Aubervilliers**
(Seine)

Le Conseil de préfecture a décidé, après examen de ces rapports, que l'indemnité due au 1er mai 1897 serait de 4 273,60 fr, et que pour l'avenir les abonnés des deux dernières catégories du rapport Garnier entreraient en compte, les abonnés situés dans l'îlot où se trouve l'usine électrique étant par conséquent seuls exceptés, que la ville de Maromme supporterait les frais d'expertise et paierait à partir du 10 janvier 1901 les intérêts des sommes dues à la Compagnie gazière.

Brevets d'invention. — Nous donnons ci-dessous différents jugements dans cette très intéressante question qui concerne autant les patrons que les ouvriers.

Le tribunal civil de la Seine a rendu, le 2 juin 1899, sur une instance introduite par un sieur F... contre son ouvrier S..., un jugement dont les considérants principaux sont les suivants :

Attendu que la propriété de toute nouvelle découverte ou invention appartient à son auteur ; que c'est à F... au profit duquel le défendeur aurait renoncé à son droit de propriété par une prétendue convention tacite, qu'incombe la preuve d'une semblable convention ; qu'à ce point de vue, le demandeur ne justifie pas de la renonciation qu'il invoque ;

Attendu, d'autre part, que si les ouvriers ou contremaîtres peuvent être privés du droit de faire breveter les découvertes dont ils sont les auteurs, ce n'est que lorsque ces découvertes sont le résultat de travaux exécutés par eux dans le service des objets qui s'y rattachent d'après les ordres ou sous la direction de leurs patrons ; que ces principes ne trouvent pas leur application dans la cause ; qu'il ressort nettement des témoignages recueillis que c'est presque toujours en dehors de son service que S... s'est livré, en créant à ses frais un outillage spécial, à des recherches dont le résultat a été l'invention du système du brevet, objet du litige ; que la découverte n'a certainement point été faite en suivant des instructions ou en vertu de la mission spéciale qui était confiée au défendeur par F...

Ce n'est pas la première fois que les tribunaux ont eu à se prononcer sur l'attribution de propriété d'une invention faite par un ouvrier ou employé. Lorsque les rapports, entre l'employé et le patron, ont été réglés par des stipulations spéciales, l'attribution de propriétés en est réglée par les clauses intervenues entre les parties. Mais, à défaut de conventions, il est nécessaire de distinguer entre le cas où l'employé a fait une invention à la suite des instructions de son patron, et celui où l'invention a été faite fortuitement, grâce à la sagacité et à l'initiative de l'employé.

Lorsque le salarié a fait une invention à la suite des ordres reçus, l'équité veut qu'elle appartienne à son patron. L'employé n'a eu, en effet, qu'à suivre les instructions de son chef, il n'a pas eu à faire de recherches personnelles, de dépenses souvent fort élevées. En échange de son travail, il reçoit une rémunération dont il peut débattre le montant ; ce travail est ou n'est pas rémunérateur, peu importe ; mais ce travail quel qu'il soit est la propriété du patron.

La jurisprudence s'est toujours prononcée dans le sens que nous indiquons.

La Cour de Paris, le 13 mai 1863 :

L'ouvrier d'un breveté qui, en travaillant chez son patron, a trouvé un perfectionnement brevetable, ne saurait, même alors qu'il aurait quitté ses ateliers, prendre personnellement un brevet pour ce perfectionnement.

En tout cas, dès l'instant que le principe reste le même, le nouveau breveté ne saurait exploiter son perfectionnement sans se rendre coupable de contrefaçon vis-à-vis du premier breveté.

La même Cour, le 19 janvier 1872 :

Le salarié de l'Etat peut être breveté pour une invention faite en dehors de son service et de ses fonctions spéciales, sans qu'il y ait d'ailleurs à rechercher s'il a pu en puiser le germe dans les travaux exécutés sous ses yeux et dans les conseils de plusieurs de ses supérieurs.

La Cour de Lyon, le 19 mai 1886 :

Il est de principe que, lorsqu'une invention est le résultat du travail auquel l'ouvrier est préposé, qu'elle en est la conséquence directe, que l'inventeur n'y a été amené que par les instructions et les avis qu'il a reçus pour l'exécution même de sa mission, l'invention appartient au patron, puisque c'est en suivant ses inspirations, en exécutant ses ordres, en se servant des matières et des modèles fournis par lui et à l'intérieur de son usine avec l'aide de ses ouvriers, que l'employé a été conduit à sa découverte.

Plus récemment, le Tribunal de commerce de Roubaix a rendu (9 février 1888), le jugement suivant, confirmé par la Cour de Douai, le 7 mai 1888 :

Un chef de fabrication ne saurait être admis à conserver comme son bien et sa propriété propre les recettes et formules qu'il a pu inventer, grâce à l'habileté et à l'ingéniosité d'un de ses ouvriers.

Comme on le voit, la jurisprudence qui s'était d'abord prononcée dans un sens toujours favorable aux patrons, peut changer et être favorable à l'ouvrier qui doit exclusivement contribuer aux bénéfices d'une invention qui est surtout due à son sens pratique et à la connaissance approfondie qu'il a de sa spécialité. C'est un point qu'il était important de signaler.

	Nombre total des bureaux	Nombre des bureaux reliés par des circuits métalliques	Proportion en p. 100
1er janvier 1900	557 979	311 129	55,76
— 1901	697 674	438 222	62,81
Augmentation .	139 695	127 093	7,05

Les dépenses faites jusqu'au 31 décembre 1900 pour la construction, l'équipement et les fournitures de ce réseau représentent un capital de 80 760 103. La recette brute du trafic effectué sur ces lignes, moyennant redevance, accuse une augmentation de 13,45 p. 100 sur celle de l'année 1899.

L'année dernière, le développement du trafic a pris un essor remarquable, grâce surtout à l'augmentation du nombre des abonnés, qui s'est produite dans une proportion sensiblement supérieure à celle de toutes les années précédentes.

Depuis 1898, le nombre des postes d'abonnés s'est élevé de 380 000 qu'il était encore alors à plus de 800 000. Cet énorme accroissement est dû en grande partie aux perfectionnements que les Compagnies ont apportés à la construction des lignes et appareils, ainsi qu'à l'organisation du service en vue de satisfaire à tous les besoins des abonnés.

L'introduction générale d'un tarif basé sur la mesure des services rendus, le raccordement par circuits métalliques des postes d'abonnés aux bureaux téléphoniques et des réductions de taxes ont amené à la Compagnie, tant pour les relations d'affaires que pour les relations privées, une nombreuse clientèle, qui avait été jusqu'ici empêchée de s'abonner par la cherté des communications téléphoniques.

La Compagnie a obtenu ces résultats si satisfaisants sans aucun détriment pour le service, car on a pu constater une amélioration générale de la construction du réseau, ainsi que de l'organisation et de l'exécution du service.

Dans les bureaux principaux, on aura bientôt remplacé partout l'ancien système des tableaux-commutateurs multiples par des tableaux à relais pourvus de lampes à signaux électriques et d'une installation centrale des piles montée dans des bâtiments aménagés spécialement dans ce but et appartenant aux Compagnies.

La plus grande partie des nouveaux postes d'abonnés sont reliés aux bureaux téléphoniques par des circuits métalliques, et l'on comptait, à la fin de 1900, 538 000 postes ainsi raccordés, soit 154 000 de plus qu'en 1899.

Il est certain que, pour lutter contre la concurrence, les Compagnies ont dû accorder dans quelques localités des taxes qui ne suffisaient pas à couvrir les dépenses courantes du service et les frais de reconstruction et de réparation des lignes et installations. Ces conditions ne seront cependant pas d'une longue durée, et, d'une manière générale, le système de la Compagnie a pris, dans tout le pays, un développement sain et solide.

Les dépenses faites en 1900 pour l'extension des lignes et du trafic dans tout le territoire des États-Unis ont été beaucoup plus considérables que les années précédentes. Les nouvelles constructions entreprises par l'American Telephone and Telegraph Cº et par les Compagnies qui exploitent ses brevets ont exigé 144 314 854 fr; sur cette somme 109 571 714 fr ont été affectés à l'établissement et à l'équipement des lignes et postes d'abonnés et 34 742 139 fr à la construction de lignes employées par des entreprises ou des particuliers, moyennant une redevance annuelle. A ces frais, il faut ajouter 16 245 516 fr placés sur immeubles destinés à l'établissement de bureaux du service et de l'Administration des Compagnies. Jusqu'à la fin de l'année, la somme totale dépensée pour la construction et l'établissement de tous les réseaux de l'American Telephone and Telegraph Cº représentait, avec les immeubles, un capital de 842 372 589 fr.

Les évaluations déjà établies font présager que les extensions des réseaux actuellement en exploitation exigeront, pour l'année courante, de nouvelles dépenses très considérables.

En rappelant qu'un quart de siècle s'est écoulé depuis la découverte et l'application de l'art de la transmission de la parole par téléphone, le rapport de l'American Telephone and Telegraph Cº jette un regard rétrospectif sur le développement et l'extension de ce merveilleux système de communication, qui est devenu un facteur si important de la vie commerciale et sociale de toutes les nations civilisées.

Deux ans après que le professeur Bell eut fait connaître son admirable invention, soit en 1877, on ouvrait le premier bureau téléphonique aux États-Unis, et c'est à partir de la dite époque qu'a été construit le grand système des lignes téléphoniques avec son réseau si compact de raccordements, au moyen duquel on peut converser entre des localités situées à des distances de plus de 1 000 km.

On comptait, il y a vingt ans, aux Etats-Unis, 47 880 abonnés au service téléphonique et 47 810 km de fils affectés à leurs correspondances. A la fin de l'année dernière, il y avait 800 880 postes d'abonnés, montés avec les appareils de l'American Telephone and Telegraph Cº, et 3 156 548 km de fils posés pour le service des abonnés et des cabines publiques.

Dès le début, les Etats-Unis ont toujours marché à la tête des autres nations, tant au point de vue du développement du trafic que de l'application des inventions et perfectionnements modernes qui peuvent contribuer à l'amélioration du service.

C'est ce que fait ressortir la comparaison entre le développement ci-dessus indiqué du service téléphonique aux Etats-Unis, à la fin de 1900 et la situation de ce service dans les pays suivants de l'Europe telle qu'elle résulte des rapports que la Compagnie a pu obtenir, en partie pour l'année 1899 et en partie pour celle de 1900, en ce qui concerne le nombre de leurs abonnés :

Allemagne	229 391
Grande-Bretagne	171 660
Suède	73 500
France	59 927
Suisse	38 864
Autriche	32 255
Russie	31 376
Norvège	29 446

On voit par ces chiffres que les 800 000 postes d'abonnés reliés des bureaux téléphoniques des Compagnies exploitant les brevets de l'American Telephone and Telegraph Cº dépassent encore de beaucoup le nombre total des abonnés des services téléphoniques de tous les pays de l'Europe.

En dehors de ces 800 000 postes d'abonnés, on compte encore 40 000 stations de lignes privées, qui sont pourvues de téléphones appartenant à la Compagnie.

Le nombre annuel des conversations entre abonnés et autres atteint aux Etats-Unis presque le chiffre de deux milliards par an.

LITTÉRATURE DES PÉRIODIQUES

Pour la signification des abréviations, voir numéro du 9 novembre, p. LXXVIII.

Génération et distribution.

Dynamos et moteurs électriques. — La désignation et les essais de la machinerie électrique ; G. KAPP (E, p. 313 et 341, 6 septembre ; El, p. 798, 13 septembre ; E R, 451, 13 septembre).
Répartition des lignes de force dans les induits dentés dans le cas d'une forte saturation des dents ; calcul de la force magnétomotrice correspondante ainsi que de l'entrefer minimum δ ; Emil DICK (E T Z, p. 598, 25 juillet).
Nouveaux types de générateurs à accouplement direct (E R N Y, p. 197, 17 août).
Grands générateurs anglais (S R J, p. 351, octobre).
Essais d'un turbo-alternateur Parsons au Sihley College (R M, p. 49, 31 juillet).
Groupes électrogènes de faible puissance (I E, p. 375, 25 août).
Groupe électrogène Mather et Platt de l'Exposition de Glascow (E, p. 514, 11 octobre).
Machines dynamos modernes à commutation ; M.-H. HOBART (E, p. 397, 20 septembre ; El, p. 826, 20 septembre ; E R, p. 609, 649 et 694, 11, 18 et 25 octobre ; E T Z, p. 868, 17 octobre).
Contribution à la théorie graphique des dynamos en dérivation ; L. BERNARD, (E T Z, p. 892, 24 octobre).
Puissantes génératrices à courant continu ; Henry M. HOBART, (E T Z, p. 650, 15 août).
Nouveau type de génératrice pour électrolyse (E.-W., p. 479, 21 septembre).
Dynamo génératrice pour électrolyse (E R N Y, p. 551, 2 novembre).

CHEMINS DE FER DE L'OUEST

Le Conseil d'administration des Chemins de Fer de l'Ouest vient de décider de soumettre à l'homologation ministérielle une proposition modifiant, comme suit la durée de validité des billets d'aller et retour (tarif G. V. N° 2. Grandes lignes) :

Jusqu'à 60 kilomètres	2 jours	De 301 à 400 kilomètres	6 jours
De 61 à 100 —	3 —	De 401 à 500 —	7 —
De 101 à 200 —	4 —	De 501 à 600 —	8 —
De 201 à 300 —	5 —	De 601 à 700 —	9 —

De 701 à 800 kilomètres . . . . 10 jours

Ces délais ne comprennent pas les dimanches et jours fériés et la validité des billets est augmentée en conséquence.

Les délais actuels de la validité des billets d'aller et retour comportant une durée variant de 2 jours (jusqu'à 125 kilomètres) à 7 jours (au-dessus de 600 kilomètres), la modification proposée réalisera donc une sérieuse amélioration qui sera appliquée aussitôt que la Compagnie aura reçu de l'administration supérieure l'autorisation nécessaire,

Les éléments de la théorie des systèmes triphasés ; A. Ruslell (El, p. 639, 16 août).

Quelques dispositifs relatifs aux courants polyphasé (E R, p. 299, 23 août).

Les avantages relatifs des courants alternatifs, simples, diphasés et triphasés pour l'alimentation des réseaux à basse tension ; M.-B. Field (E, p. 396, 20 septembre ; E R, p. 530, 27 septembre).

Avantages relatifs des systèmes à courants alternatifs, simples, biphasés et triphasés (E R, p. 611, 11 octobre).

Avantages relatifs du courant continu et des courants triphasés dans les petites installations ; H.-A. Earle (J E E, p. 308, février).

Courants mono et triphasés (E T R, p. 237, 15 août).

Transmission par courants alternatif et continu au moyen des réseaux urbains ; M.-S. Hopkins (E R N Y, p. 518, 26 octobre).

De la marche en parallèle dans les systèmes alternatifs ; Hans Sigismund Meyer (I E, p. 365, 25 août).

Réponse à l'article de Teichmuller (E T Z, nº 28, p, 574) sur les conducteurs de compensation ; J.-L. Lacour (E T Z, p. 631, 1er août)

Note sur l'établissement des canalisations aériennes ; Loppé (Sie, p. 455, août, septembre, octobre).

Le contrôle des distributions à haut potentiel ; Rice (E W, p. 374, 7 septembre).

L'accroissement des distributions d'énergie électrique ; D. Adams (E W. p. 716, 2 novembre).

Sur le moyen de conjurer les dangers d'incendie par les câbles électriques ; W. Mead (E R N Y, p. 318, 14 septembre).

Les lois relatives à la production et la distribution de l'énergie électrique en 1900 ; avant et après ; L- Magden (J E E, p. 475. mars).

Notes sur les règlements relatifs aux installations intérieures ; F. Broadbent (J E E, p. 1130, août).

Règlements anglais concernant la distribution de l'éner-électrique (El, p. 294, 30 août, p. 719, 30 août et p 754, 6 septembre ; E R, p. 409, 6 septembre).

Loi relative à la réglementation des conducteurs de distribution ; C.-H. Wordingham (El, p. 84, 8 novembre).

Sur les points particulièrement à étudier dans un projet de transmission à longue distance ; F.-A.-C. Perkine (E R N Y, p. 255, 31 août ; A E I I, p. 501, juin, juillet).

Exécution d'une ligne de transmission de 40 milles ; L. Aldrich et W. Redfield.

Les installations électriques de Dublin ; R. Hammond (J E E, p. 540, mars).

Dispositifs employés dans l'ouest de l'Amérique pour les transmissions à longue distance (E W, p. 95, 138, 20 et 27 juillet).

Les installations électriques des Compagnies de Kensington et Notting Hill (El, p. 738, 779, 818, 6, 13 et 20 septembre).

Installations électriques à Carlsruhe (E T R, p. 248, 1er septembre).

Les installations d'éclairage et de traction de Croydon (E, p. 414, 20 septembre).

Les installations électriques municipales de Walthamstow (El, p. 858, 27 septembre).

Les nouvelles installations de la Georgia Electric light Company (A E, p. 465, octobre).

Les installations de la Société des électromoteurs à Openshaw (Manchester) (E R, p. 675, 25 octobre).

Réseau électrique de Bangor, Maine ; Alton D. Adams (E W, p. 291, 24 août).

Le système de distribution de l'énergie électrique de Trafford (E R, p. 739, 8 novembre).

La transmission d'énergie électrique de Chambly-Montréal (E R N Y, p. 313, 14 septembre).

Transmission de l'énergie électrique des chutes de Niagara ; Lewis B. Stillwell (E R N Y, p. 508 et 536, 26 octobre et 2 novembre).

Transmission de l'énergie électrique des chutes de Niagara ; Lewis B. Stillwell (A I E E, p. 541, août-septembre).

Atelier pourvu d'une importante distribution à courants polyphasés (E W, p. 249, 17 août).

Appareillage. — La fabrication des câbles électriques (G C, p. 388, 12 octobre).

Notes sur la construction et la protection des câbles aériens pour la transmission de l'énergie électrique et différents systèmes de distribution ; K.-B. Thornton (E R N Y, p. 42, 13 juillet).

Câbles souterrains système Highfield-Cater (E R, p. 297, 23 août).

Conduits en acier pour protéger les fils électriques (SRJ, p. 368, octobre).

Nouvelle méthode de localisation des défauts dans les câbles ; Walter Betts (E R, p. 255. 16 août).

Preuve graphique des essais de câbles faits par la méthode de Walter Bett ; Raymond Barker (E R, p. 420, 13 septembre).

L'isolation des câbles (E R N Y, p. 386, 28 septembre).

Les bandes de gutta pour isolement ; H.-L. Terry (El, p. 662, 33 août).

Bandes isolantes (D E L, p. 389, 17 août).

Matériel à employer dans les réseaux aériens pour distribution à 1 000 volts ; Bönninghofen (E T Z, p. 635, 8 août).

La fabrique de câbles de l'Allgemeine Elektricitats-Gesellschaft ; Kilburn Scott (E W, p. 390, 7 septembre).

Chevilles en acier pour installations électriques (I E, p. 350, 10 août).

Bobines pour courants à haute tension (E T R, p. 18. 15 octobre).

Résistances enfermées (E W, p. 197, 3 août).

Commutateur à temps, système Kintner (A E, p. 402, août).

Commutateur automatique à temps de la Acmé Switch Cº (E W, p. 398, 7 septembre).

Commutateurs pour hautes tensions ; E.-W. Rice (El, p. 67, 1er novembre).

ANCIENNE MAISON CH. MIDOZ

C. OLIVIER & Cie SUCrs

BESANÇON et ORNANS (Doubs)

CONSTRUCTION SPÉCIALE DE

MATÉRIEL ÉLECTRIQUE

POUR ÉCLAIRAGE

TRANSPORT de FORCE et TRACTION

ENVOI FRANCO des CATALOGUES

TUBES D'ACIER ÉMAILLÉS

Intérieurement et extérieurement

MATÉRIEL POUR TRACTION ÉLECTRIQUE

Lustrerie "*Art Nouveau*" appareillages jusqu'à 550 volts

TÉLÉPHONES, SONNERIES, PILES SÈCHES, VENTILATEURS

APPAREILS DE CHAUFFAGE, DE MESURE, ETC.

Lucien ESPIR

11 *bis*, Rue de Maubeuge, PARIS

CAISSE DE CONTROLE

APPAREILS

pourmesures électriques

Envoi franco sur demande du nouveau tarif spécial aux appareils de tableau

CHAUVIN & ARNOUX

Ingénieurs-Constructeurs

PARIS

186, rue Championnat

Exposition Universelle, PARIS 1900

GRAND PRIX

à sensibilité variable

ENREGISTREURS

CHEMIN DE FER DU NORD

Service à partir du 1er juillet 1901

Services les plus rapides entre

PARIS, COLOGNE, COBLENCE ET FRANCFORT-SUR-MEIN

Les services les plus rapides entre *Paris*, *Cologne*, *Coblence* et *Francfort-sur-Mein*, en 1re et 2e classes, sont assurés comme suit :

ALLER			RETOUR		
Paris-Nord . . d.	1 50 s.	9 25 s.	Francfort-s-Mein. d.	8 25 s.	5 48 s.
Cologne. . . . a.	11 20 s.	7 58 m.	Coblence. . . d.	11 16 m.	8 39 s.
Coblence . . . a.	2 52 m.	10 15 m.	Cologne. . . . d.	1 45 s.	11 21 s.
Francfort-s-Mein. a.	6 32 m.	mid. 17	Paris-Nord . . a.	11 17 s.	8 20 m.

En utilisant le Nord-Express **1re et 2e cl. entre Paris et Liège** et le train de luxe *Ostende-Vienne* entre *Liège* et *Francfort-sur-Mein*, le trajet de *Paris-Nord* à *Coblence* s'effectue en **10 heures** et celui de *Paris-Nord* à *Francfort-sur-Mein* en **12 heures** par les itinéraires indiqués ci-dessous pour l'aller et le retour.

ALLER	Nord-Express 1re et 2e cl	RETOUR	Vienne-Ostende Train de luxe
Paris-Nord . . d.	1 50 soir	Francfort-s-Mein. d.	min. 36
Liège . . . . a.	7 06 —	Coblence . . . d.	2 49 matin
	Ostende-Vienne Train de luxe	Cologne. . . . d.	4 16 —
		Liège . . . . a.	6 « —
			1re et 2e cl
Liège . . . . d.	8 08 soir		
Cologne. . . . a.	11 51 —	Liège . . . . d.	6 30 matin
Coblence . . . a.	1 22 matin	Paris-Nord . . a.	midi 50
Francfort-s-Mein . a	3 33 —		

SPÉCIALITÉS POUR L'ÉLECTROTECHNIE

Feuilles. Plaques. Disques. Bâtons. Tubes en ébonite. Objets moulés Vases pour piles électriques. Carcasses de bobines inductrices pour électro-moteurs et dynamos (transports de force) en **VULCAN-ASBEST**, produit incombustible. Grande isolation. Plaques et pièces moulées.

FOURNITURES POUR STATIONS centrales.



COLONIAL RUBBER

Société anonyme

PROUVY-THIANT (Nord) LEZ-VALENCIENNES

COLOGNE EHRENFELD (Allemagne)

GAND BRUXELLES (Belgique)

TUBES ISOLANTS en ébonite, flexibles ou non, très légers, durables et résistant à l'eau avec ou sans emboîtement suivant demande.

BANDES ISOLANTES

NOIRES OU BLANCHES goudronnées et ne durcissant pas.

BACS pour ACCUMULATEURS

Régulateur automatique de vitesse (S R J, p. 390, octobre).
Nouveau régulateur de courant dit le « Rhéocrate » (E W, p. 113, 20 juillet).
Disjoncteurs électropneumatiques à huile de la Metropolitan Company (New-York) (Elc, p. 209, 5 octobre).
Nouveau fusible à fiche avec son socle (E R N Y, p. 135, 3 août).
Mise hors circuit automatique des conducteurs traversés par des courants intenses (E T R, p. 28, 1er novembre).
Dispositifs de sûreté contre les courants intenses et les décharges atmosphériques ; système Petsch, Zwietusch et Co (E T R, p. 4, 1er octobre).
La protection contre la foudre ; Killingworth Hedger (E, p. 436, 27 septembre ; E R, p. 533, 27 septembre).
Parafoudres C. Benischke (D E L, p. 485, 12 octobre).
Appareils de contrôle de la station centrale et sous-station « Pierre de Plan » de l'usine génératrice de Lausanne ; K.-P. Tauber (E T Z, p. 825, 3 octobre).
Tableau de distribution système Ferranti combiné pour l'éclairage et la force motrice (El, p. 90, 8 novembre).

Applications mécaniques.

Les ascenseurs électriques du monument Washington ; C.-M Lewis (E W, p. 176, 3 août(.
Ascenseur hydroélectrique Otis (R M, p. 472, octobre).
Ascenseur électrique du canal de Henrichemburg (E R, p. 9, 25 octobre).
Elévateur électrique de la mine de Comstock (E W, p. 232, 10 août).
Le régulateur de l'ascenseur de la Three Rivers Électric Company (E W, p. 233, 10 août).
Grues électriques pour la manutention des charbons au port de Rotterdam (B S E, p. 158, 31 juillet).
Grue électrique à plateaux de 1500 kg ; P. Chevillard (R I p. 301, 3 août).
Équipement électrique des grues ; Will. Rung (E R, p. 411 et 499, 6 et 27 septembre ; p. 621, 18 octobre).
Électro-aimants pour fortes charges ; George-E. Walsh (E R N Y, p. 53, 26 juillet).
Courroie pour transporter les cendres à l'usine de la 96e rue à New-York (S R J, p. 361, octobre).
Les machines-outils à commande électrique ; les avantages de leur emploi dans les ateliers ; G. Ralph (J E F, p. 545, mars).
L'application de l'électricité aux machines-outils ; C. Basil Nixon (J E F, p. 1200, août).
Machine à mortaiser actionnée électriquement, système Droop et Rein (G C, p. 308, 7 septembre).
Perforatrice à diamants et à commande électrique (G C, p. 307, 7 septembre).
Perforatrices électriques ; Georges-H. Waltman (E W, p. 267, 17 août).
Foret électrique (E W, p. 268, 17 août).
Pompe électrique Glenfield et Kennedy à l'Exposition de Glasgow (E, p. 591, 25 octobre).
Essais d'une pompe mue électriquement (El, p. 609, 9 août).
Moteurs électriques Spence pour machine à imprimer à quatre rouleaux (E, p. 265, 23 août).
Moteur Jenney pour imprimerie (E W, p. 479, 21 septembre).
Le synchroniseur Lincoln (E W, p. 562, 5 octobre).
Changement de marche à embrayage magnétique, système Riddell (R I, p. 353, 7 septembre).
Les signaux de chemins de fer ; J.-A. Timmis ; (E, p. 347, 13 septembre ; El, p. 799, 13 septembre).
Progrès récents dans les signaux de chemins de fer ; Timmis (E, p. 531, 11 octobre).
Les signaux de chemins de fer en Amérique et en Angleterre ; J. Pigg (E R, p. 503, 27 septembre, p. 539 et 663, 4 et 25 octobre, p. 701, 1er novembre).
Appareils pour chemins de fer électriques ; J. Brac (E R N Y, p. 406, 5 octobre).
Signal électro-mécanique pour chemins de fer (E W, p. 567, 5 octobre).
Nouvel appareil pour signaux électriques (E W, p. 441, 14 septembre).
Système du signal de Block sur le chemin de fer élevé de Boston (S R J, p. 155, septembre 1901).
Quelques nouveaux appareils de Block signal (E W, p. 500, 28 septembre.
Cabine électrique du croisement des lignes de Saint-Charles Air Line ; Chicago, Madison et Northern ; Chicago Rock Island et Pacifique, et Lake Shore et Michigan Southern (R C T, p. 391, octobre).
Signaux horaires électriques ; Georges Dary (Ele, p. 193, 28 septembre).
Conditions de fonctionnement de l'électricité dans les ateliers ; S. Aldrich (E R, p. 650, 18 octobre).
Équipement polyphasé des ateliers ; W. Wyld (J F E, p. 986, juin).
L'emploi des courants polyphasés dans les usines ; W. Wyld (E R, p. 369, 30 août, p. 429, 13 septembre).
Emploi de l'électricité dans les ateliers et manufactures ; W.-S. Aldrich (E R, p. 614, 11 octobre).
La commande électrique dans les usines et ses avantages ; G. Dary (E l e, p. 99, 17 août).
Sur l'emploi de l'énergie électrique dans les ateliers de construction maritimes ; R. Robertson (E, p. 384, 13 septembre ; E l, p. 825, 20 septembre ; E R, p. 454, 13 septembre).
Sur l'emploi de l'électricité dans les ateliers de construction des machines marines (E l, p. 869, 27 septembre).
Puissance requise pour le fonctionnement d'un atelier de construction de machines marines ; J.-C. Crighton et Riddell (E l, p. 876 et 801, 27 et 20 septembre).
Organisation des ateliers de constructions navales ; J. Dum (R M, p. 318, septembre).
L'équipement électrique des ateliers de constructions navales de MM. Palmers (E. p. 607, 1er novembre).
Installation de l'électricité dans les ateliers de la marine des Etats-Unis (E W, p. 713, 2 novembre).
Equipement électrique de la plus grande fabrique de toile du monde (E W, p. 741, 2 novembre).

L'Éclairage Électrique

REVUE HEBDOMADAIRE DES TRANSFORMATIONS

Électriques — Mécaniques — Thermiques

DE

L'ÉNERGIE

SOMMAIRE

Adresser tout ce qui concerne la Rédaction à M. J. BLONDIN, 171, Faubourg Poissonnière (9e arrondissement).
M. BLONDIN reçoit, 3, rue Racine, le jeudi, de 2 à 4 heures.

NOUVELLES ET ÉCHOS

Syndicat professionnel des Industries électriques (*séance du 8 octobre 1901*). — La séance est ouverte à cinq heures, sous la présidence de M. Mildé.

Étaient présents : MM. Azaria, Bénard, Berne, Eschwege, Geoffroy, Hillairet, Javaux, Laffargue, Larnaude, Ferd. Meyer, Mildé, Portevin, Radiguet, Ribourt, E. Sartiaux, De Tavernier, Violet, Vivarez, Vedovelli.

Sont excusés : MM. Bardon, Boistel, Chaussenot, Clémançon, Ducretet, Zetter.

Le procès-verbal de la dernière séance est lu et adopté sans observation.

Admissions et démissions. — Sont admis comme membres adhérents du Syndicat :

M. Tourtay (Paul-Alfred), Directeur de la maison de Paris de la Compagnie India-Rubber, 97, boulevard Sébastopol, à Paris (XIe), présenté par MM. E. Sartiaux et Bénard.

M. George (F.), Directeur de la maison Victor Lecomte, 2, rue des Créneaux, à Reims, présenté par MM. E. Sartiaux et Portevin.

Est acceptée la démission de M. Gibert (Arthur).

Décret du 7 mai 1901 relatif aux nouvelles dispositions pour les abonnements téléphoniques. — M. le Président rappelle qu'une lettre reproduite dans le dernier bulletin a été adressée le 18 juillet dernier à M. le Sous-Secrétaire d'État des postes et des télégraphes au sujet des nouvelles dispositions prévues par le décret du 7 mai 1901 relatif aux abonnements téléphoniques.

Dans cette lettre la Chambre demandait à M. le Sous-Secrétaire d'État de l'entretenir verbalement des observations qu'elle lui transmettait. Par suite des vacances, cette entrevue n'a pu avoir lieu et vient d'être fixée au 9 de ce mois.

A cette occasion, M. le Président donne lecture d'une lettre adressée par l'administration des télégraphes aux constructeurs électriciens adjudicataires des fournitures d'appareils, relative à des obligations concernant le taux des salaires et la durée de travail des ouvriers occupés à la construction de ces appareils.

Cette lettre visant des adjudications anciennes et donnant aux obligations imposées par l'administration un effet rétroactif, les constructeurs ont été unanimes à protester.

La délégation qui se rendra demain auprès de M. le Sous-Secrétaire d'État compte également l'entretenir de cette importante question.

Souscription ouverte pour l'érection d'un monument à Z. Gramme. — M. le Président fait connaître qu'à la suite d'une démarche faite auprès de M. le préfet de la Seine et de M. le Directeur du Conservatoire des Arts et Métiers, le Conseil d'administration de cet établissement a autorisé l'érection du monument à élever à Z. Gramme, dans le futur square qui doit entourer le Conservatoire.

La maquette de ce monument est actuellement en préparation chez le sculpteur Mathurin Moreau.

La souscription étant également ouverte, M. le Président invite la Chambre à voter la somme qu'elle désire affecter pour sa part : la Chambre vote à l'unanimité une somme de 300 francs.

A cette occasion M. Bénard fait connaître que le Syndicat des Entrepreneurs et des Constructeurs électriciens a dans sa dernière séance voté une somme de 100 francs dans le même but.

École pratique d'ouvriers électriciens. — M. le Président informe la Chambre que le rapport dont elle a chargé MM. E. Sartiaux et Portevin au sujet de la création de l'École pratique d'ouvriers électriciens est prêt à lui être soumis. Toutefois, comme il est nécessaire de le compléter par quelques renseignements qu'il a paru utile de recueillir, M. le Président propose de renvoyer l'examen de ce rapport à la séance du mois de novembre, étant entendu qu'il sera imprimé et distribué aux membres de la Chambre avant cette date.

Organisation des commissions permanentes. — M. le Président rappelle à la chambre la demande faite à la dernière séance par M. Robard pour la constitution de Commissions permanentes. Ces commissions pourraient être divisées comme suit :

1re Commission : Constructions.
2e Commission : Installations, distributions, éclairage.
3e Commission : Canalisations, fils et câbles.
4e Commission : Téléphonie, télégraphie, appareillage, applications diverses.
5e Commission : Contentieux.

Après un échange d'observations entre les membres présents, il est décidé que l'examen de cette question sera repris dans une prochaine séance.

Enquête sur les conditions de l'apprentissage industriel. — M. le Président donne lecture d'une lettre de M. le Ministre du commerce communiquant deux questionnaires relatifs aux conditions dans lesquelles se pratique l'apprentissage industriel.

La Chambre décide de distribuer ce document aux membres du syndicat en les priant de répondre aux questionnaires avant le 25 octobre.

Conseils du travail. — M. le Président donne connaissance d'une lettre adressée à M. le président du Conseil des ministres, par l'Union des industries Métallurgiques et Minières et des industries qui s'y rattachent au sujet de la création des Conseils du travail : la Chambre décide de tenir cette lettre et les notes qui y sont jointes à la disposition des membres du Syndicat qui en feront la demande.

Loi sur les accidents du travail. — M. le Président signale les modifications votées par la Chambre des députés à la loi du 9 avril 1898 sur les accidents du travail.

La Chambre décide d'attendre, pour formuler son avis, les résultats de l'étude que fait actuellement sur cette question l'Union des industries Métallurgiques et Minières et des industries qui s'y rattachent.

Projet de loi sur les retraites ouvrières. — M. E. Sartiaux rend compte de la discussion à laquelle ce projet de loi a donné lieu au Comité central des Chambres syndicales ainsi que des observatisns formulées sur ce projet par les membres du syndicat.

Après un échange d'observations entre les membres présents, et la lecture des délibérations prises par certaines chambres syndicales.

Sur la même question, la Chambre charge son Président de répondre au Ministre dans le même sens. Cette réponse sera reproduite dans le bulletin.

Affaires diverses. — 1° M. le Président rend compte de la démarche qu'il a faite auprès de M. le Préfet de la Seine pour protester contre l'emploi de matériel étranger dans certaines entreprises relevant des services de la ville de Paris. M. le Préfet a promis qu'une enquête serait faite à ce sujet.

2° La Chambre décide qu'il n'y a pas lieu de donner suite aux demandes d'adhésion qui lui ont été faites : par le Congrès permanent international du Commerce et de l'Industrie et par la Chambre de Commerce française de Rome.

3° La Chambre décide d'insérer dans le bulletin une note signalée par M. Hillairet et relative aux questions posées par la commission du matériel roulant du ministère des travaux publics.

4° La Chambre renvoie à la commission des douanes l'examen du projet de tarif douanier allemand qui lui est communiqué par l'Office national du commerce extérieur.

5° La Chambre adresse à M. Vivarez tous ses remerciements pour le don des livres qu'il a bien voulu faire à la bibliothèque du syndicat.

6° M. le Président informe la Chambre qu'il a signalé à M. le Préfet de la Seine l'utilité d'adjoindre des représentants du Syndicat aux membres, récemment nommés, de la commission technique instituée pour donner son avis sur le régime du gaz et de l'électricité à Paris.

La chambre décide d'informer les membres du Syndicat, par la voie du Bulletin, qu'une exposition s'ouvrira le 3 novembre 1903 à Hanoï (Tonkin) sous les auspices du gouvernement général de l'Indo-Chine.

L'ordre du jour étant épuisé, la séance est levée à six heures trois quarts.

GÉNÉRATION ET DISTRIBUTION

Machines à vapeur Westinghouse de 6 000 chevaux. — Nous lisons dans un des derniers *Bulletins de la Société des Ingénieurs civils :*

Nous avons dit, dans les *Informations Techniques* de mars 1900, 1re quinzaine, page 173, que la New-York Gas, Electric Light, Heat and Power Cy avait décidé d'installer une station centrale contenant 16 machines à vapeur de 5 500 chevaux chacune. Il est possible que ces chiffres aient été modifiés pour l'exécution, toujours est-il que les journaux techniques américains annoncent que la Compagnie Westinghouse, de East Pittsburgh, vient de terminer la première des 8 machines de 6 000 chevaux qui lui ont été commandées par la Compagnie désignée ci-dessus. Cette machine est la plus puissante qui ait été construite jusqu'ici aux États-Unis. Elle pourra développer au besoin 10 500 chevaux.

Voici quelques renseignements sur ce moteur. La machine contient 10 500 pièces différentes, boulons

et vis compris ; le poids total s'élève à 680 000 kg en nombre rond. Les chiffres suivants peuvent donner une idée de ses dimensions.

Hauteur du sol au plateau supérieur des cylindres 11,36 m, longueur dans le sens de l'axe de l'arbre 12,50 m, largeur dans le sens perpendiculaire à l'arbre 7,00 m ; diamètre du volant 7,00 m ; diamètre de l'arbre 0,66 à 0,75 m ; poids de l'arbre 61 600 kg. Il a fallu 30 wagons pour le transport par chemin de fer.

La plaque de fondation, en trois pièces, pèse 93 000 kg ; sur cette plaque s'élèvent trois bâtis en forme d'A portant à la partie supérieure des brides sur lesquelles s'ajustent les guides des têtes de tiges de piston. Ces guides portent eux-mêmes les cylindres au nombre de trois, un à haute et deux à basse pression.

Trois plates-formes de circulation entourent la machine, la première à la jonction des bâtis en A et des guides de têtes de tiges de piston, la deuxième à la hauteur du bas des cylindres et la dernière à la partie supérieure des cylindres. Ces plates-formes sont reliées entre elles par des escaliers à spirale en fer et la plus basse avec le sol par un escalier droit.

Le cylindre à haute pression a 1,105 m de diamètre et les cylindres à basse pression 1,918 m, ce qui donne un rapport de volumes de 3 à 1, la course est de 1,524 m et le nombre de tours prévu de 75 par minute, soit une vitesse de piston de 3,80 m par seconde. Le cylindre à haute pression a une distribution par soupapes actionnées par un mécanisme à déclic, tandis que les cylindres à basse pression ont des obturateurs Corliss avec commande ordinaire par plateau oscillant et bielles. Cette combinaison des deux systèmes est peu usitée en Amérique ; elle a été adoptée parce que le cylindre à haute pression reçoit de la vapeur à 12,5 kg de pression, surchauffée de 150°, ce qui la porte à une température de 302° C. à laquelle il ne serait pas facile de lubrifier des obturateurs Corliss de manière à en obtenir un service satisfaisant.

La machine est à condensation et le vide doit atteindre normalement 0,66 m de hauteur de mercure. Un réservoir réchauffeur est disposé à la hauteur des guides de tiges de piston et s'étend sur toute la longueur de la machine. Il contient 110 tubes donnant une surface de chauffe de 112 m². Les cylindres à basse pression ont seuls des enveloppes de vapeur.

On peut signaler comme particularité intéressante dans la construction de cette machine que les excentriques qui commandent la distribution ne sont pas calés sur l'arbre, comme d'habitude, mais sur un arbre auxiliaire placé parallèlement à celui-ci et à la hauteur de la première plate-forme. Cet arbre de distribution est commandé par le premier, par l'intermédiaire d'une transmission comportant des roues dentées hélicoïdales. Au moyen de cette disposition on peut avoir des excentriques d'un diamètre réduit donnant lieu à beaucoup moins de frottement ; le diamètre de l'arbre à manivelles étant de 0,75 m, celui de l'arbre de distribution n'est que de 0,152 m. L'arbre coudé est en acier comprimé à l'état fluide et forgé à la presse hydraulique ; les bielles motrices sont de la même matière, ces pièces ont été fournies par les forges de Bethlehem.

L'arbre, dont nous avons donné plus haut les dimensions, a un évidement central de 0,254 m de

diamètre dans les parties situées entre les portées et de 0,22 m aux portées.

Les bielles motrices, en acier forgé, ont 4,185 m de longueur de centre en centre, soit 5,5 fois le rayon de manivelle, les boutons des petites têtes ont 355 × 335 et les boutons de manivelle 0,56 m de diamètre sur 0,355 de longueur.

Le moyeu du volant est en fonte, les bras et la jante en acier coulé. Le moyeu et la jante sont faits chacun en cinq parties assemblées avec croisement partiel. La vitesse à la circonférence au nombre de tours normal est de 27,50 m par seconde.

L'armature de la dynamo est calée sur l'arbre à côté du volant avec des clavettes et elle est en outre reliée par un boulonnage au moyeu du volant. L'extrémité de l'arbre au delà de l'armature est portée par un palier boulonné à un fort massif de fonte.

Bien que la machine dont nous nous occupons soit plus puissante que les moteurs récemment construits pour les stations centrales de Bay Ridge de la Kings County Light and Power Cy, le volant est beaucoup plus petit, parce que dans la machine que nous venons de décrire le calage à 120° des trois manivelles donne une uniformité de rotation qu'on ne peu obtenir dans une machine n'ayant que deux manivelles.

On a déjà commencé le travail sur les autres machines de 6,000 chevaux de la New-York Gas, Electric Light, Heat and Power Compagny et les ateliers Westinghouse y sont occupés ainsi qu'à la construction de 8 machines de 5,000 chevaux chacune du même type pour le chemin de fer de la troisième Avenue de New-York, 2 semblables pour l'Elevated Railway de Boston et 2 de 1 500 chevaux chacune pour Manchester, en Angleterre.

Effet des incrustations sur le rendement des chaudières. — Le *Bulletin de la Société des Ingénieurs civils* résume comme il suit la conclusion d'un article publié sous le titre qui précède dans le *Boiler Maker*, par M. William H. Bryan, de Saint-Louis :

1° Les dépôts ordinaires de chaudières qui sont généralement de contexture plus ou moins poreuse ont peu ou point d'effet sur la production de vapeur ou le rendement des chaudières tant que leur épaisseur ne va pas jusqu'à empêcher la circulation de l'eau ; 2° les dépôts durs et compacts qu'on rencontre parfois réduisent à la fois la production et le rendement des générateurs, mais dans une mesure très variable qui dépend de la nature et de l'épaisseur de ces dépôts ; 3° la présence d'une assez faible épaisseur de suie sur la partie en contact avec le feu des surfaces de chauffe a un effet immédiat et très marqué sur la production de vapeur et le rendement des chaudières. Ce dernier point a été souvent mis en lumière, mais peut-être jamais aussi bien que par une série d'expériences faites par l'auteur sur des chaudières à eau dans les tubes, il y a quelques années, à Columbus, Ohio.

Ces essais ont eu lieu sur trois chaudières semblables placées en batteries. La température des gaz à la sortie était en moyenne, pour deux des chaudières, de 260° C. tandis que pour la troisième, cette température s'élevait à 330°. Après beaucoup de recherches, on finit par reconnaître que dans leur hâte à tout préparer pour les essais, les chauffeurs avaient oublié de nettoyer l'extérieur des tubes de cette chaudière.

L'auteur tient à être bien compris. Il est loin de vouloir contester l'intérêt qu'il y a à épurer les eaux d'alimentation et l'utilité du nettoyage intérieur plus ou moins fréquent des chaudières. Ces précautions ne doivent pas être négligées, mais il est probable que leur utilité est surtout au point de vue de la prévention des accidents, notamment des coups de feu aux chaudières. Elles ont beaucoup moins d'importance sous le rapport de l'économie de combustible qu'on ne le croit généralement. A ce point de vue, la propreté des surfaces de chauffe du côté du feu a une beaucoup plus grande valeur. Cette considération donne un intérêt encore plus sérieux aux dispositions propres à prévenir l'émission de la fumée dans le chauffage des chaudières.

Un fait qui vient à l'appui de cette manière de voir est la très notable conductibilité des dépôts pour la chaleur, ce dont on peut s'assurer en prenant un morceau de ces dépôts en feuilles longues et minces qu'on trouve autour des tubes de chaudière et en les chauffant à un bout ; on constatera facilement que la conductibilité se rapproche de celle des métaux au moins pour certaines natures de dépôts. On comprend d'ailleurs qu'avec les intervalles très faibles qui existent entre les tubes des chaudières tubulaires ordinaires une épaisseur un peu forte des dépôts ralentit la circulation et par là réduit la vaporisation par un effet indirect.

Explosions de chaudières aux Etats-Unis. — Le journal *Locomotive*, publié par la Hartford Steam Boiler Inspection and Insurance Company, dit :

Le nombre total des explosions de chaudières survenues en 1900 aux Etats-Unis a été de 393 ; c'est 10 de moins que l'année précédente. Il y a eu, en effet, 363 explosions en 1899, 383 en 1898, 369 en 1897 et 346 en 1896.

Le nombre de personnes tuées en 1900 a été de 268 contre 298 en 1899, 324 en 1898, 398 en 1897 et 382 en 1896. Quant au nombre de blessés (non morts de leurs blessures) il a été de 520 en 1900 contre 456 en 1899, 577 en 1898, 398 en 1897 et 382 en 1896.

On voit par les chiffres qui précèdent que, dans l'année 1900, il y a eu, en moyenne, un peu plus d'une explosion par jour. Si on rapporte, pour la même année, le nombre des morts et des blessés au nombre d'explosions, on trouve qu'il y a eu 0,72 morts et 1,40 blessés, soit en tout 2,12 victimes par explosion.

Il est difficile d'expliquer pourquoi les explosions de chaudières sont plus nombreuses et plus graves aux Etats-Unis qu'en Angleterre par exemple. Ainsi dans l'année qui a fini le 1er juillet 1900, les explosions de chaudières survenues dans la Grande-Bretagne n'ont tué que 24 personnes et blessé 65, soit en tout 89 victimes. Le contraste entre ce chiffre et celui de 830 victimes faites aux Etats-Unis pour la même année pendant la même période est frappant. On ne saurait admettre que les chiffres qui se rapportent à la Grande-Bretagne soient inexacts parce que le Board of Trade a tous les moyens possibles pour être bien renseigné. D'autre part il n'est point présumable que le nombre des chaudières des Etats-Unis soit dix fois celui des générateurs de la Grande-Bretagne. On a dit que les chaudières américaines fonctionnent avec un facteur de sécurité moindre que les chaudières anglaises. Nous n'avons aucun moyen de savoir si c'est vrai, mais la différence, s'il y en a une, ne peut être assez grande pour expliquer l'excès

réellement effrayant du nombre des explosions et des victimes aux Etats-Unis. En fait nous renonçons à trouver une explication raisonnable de ce fait peu flatteur pour l'amour-propre des constructeurs ou des propriétaires de chaudières des Etats-Unis ».

Nouvelles usines de traction et d'éclairage de Bruxelles. — A la suite du vote de la loi concernant l'unification des Tramways à Bruxelles, et qui assure à la Société Anonyme des Tramways Bruxellois une concession nouvelle, cette Société va appliquer la traction électrique à toute l'étendue de son réseau.

Depuis de nombreuses années déjà, la ligne des grands boulevards est desservie par trôlet aérien et, depuis 1898, plusieurs lignes importantes, décrites dans ce journal, ont encore été transformées ; on y a appliqué le système à caniveau et avec un succès d'autant plus remarquable que ce système n'avait pas encore fait, à l'époque, toutes ses preuves.

Les différentes stations centrales, au nombre de trois, comportent actuellement une puissance totale d'environ 3 000 chevaux.

Pour assurer le service électrique, lorsqu'il sera appliqué à tout le réseau, la Société a décidé la création d'une usine centrale nouvelle, bâtie en dehors de l'agglomération et qui distribuera l'énergie sous forme de courants triphasés aux stations actuelles, transformées en sous-stations, où les courants triphasés seront convertis en courant continu.

La future usine, dont les travaux sont commencés, possèdera dès le début quatre groupes électrogènes de 1 200 kilowatts, et les bâtiments seront construits pour l'adjonction ultérieure de trois unités nouvelles de même importance.

Les machines à vapeur sont en construction aux usines Van den Kerchove, de Gand ; elles travailleront à vapeur surchauffée et seront pourvues de la distribution nouvelle que cette maison avait exposée l'an dernier à Paris.

Les alternateurs seront du système Thomson-Houston et seront directement accouplés aux machines à vapeur qui auront comme vitesse de rotation 94 tours par minute.

Cette nouvelle station centrale, qui sera l'une des plus importantes de l'Europe, a été étudiée de façon à posséder tous les derniers perfectionnements de la technique moderne et à produire le kilowatt-heure dans des conditions de prix exceptionnellement favorables.

D'autre part, la ville de Bruxelles donne en ce moment une grande extension à son service d'éclairage public par l'électricité.

L'usine actuelle, qui comporte 5 500 chevaux, est en voie d'agrandissement ; une nouvelle unité de 1 500 chevaux, en construction aux ateliers Van den Kerchove, y sera montée prochainement ; malgré l'agrandissement des locaux, qui a dû se faire par voie d'expropriation et qui permettra l'adjonction de quelques unités, la station, enserrée en pleine agglomération, deviendra rapidement insuffisante. Aussi les services techniques de la capitale Belge étudient-ils dès à présent la construction en dehors de la ville d'une nouvelle station centrale d'une puissance de 20 000 chevaux qui produirait le courant triphasé à haute tension et le distribuerait à des sous-stations comme cela va se faire pour le réseau des tramways bruxellois.

Usine génératrice d'électricité d'Hammersmith à Londres. — Depuis plusieurs années déjà la multiplicité des entreprises privées de distribution d'énergie électrique avait soulevé une vive discussion afin de savoir s'il ne serait pas préférable de grouper la génération de l'énergie électrique en quelques centres importants. Déjà plusieurs Compagnies d'électricité ont adhéré à cette idée; celle de Saint-James a fusionné avec celle de Westminster dans ce but, et deux autres, la Kensington et la Notting Hill Compagnies ont déjà mis cette idée à exécution en reliant ensemble leurs réseaux pour n'en former qu'un seul alimenté par une seule usine réédifiée et rééquipée dans cette intention.

La nouvelle usine se trouve à une distance de 2 à 4,500 km des districts desservis par les réseaux des deux compagnies respectivement, et on a, en conséquence, donné la préférence aux courants triphasés à 5 250 volts, transformés ensuite à 220 volts par les appareils des sous-stations situées sur les points d'utilisation. L'usine est construite pour une capacité éventuelle de 10 000 chevaux. La chambre de chauffe comprend actuellement 8 chaudières Babcock et Wilcox chacune ayant environ 330 m² de surface de chauffe et capables d'évaporer 6 048 litres d'eau par heure à la pression de 8,6 kg : cm² qui est celle de la marche.

Elles reçoivent leur combustible d'une soute élevée, pouvant en contenir 800 tonnes, par l'intermédiaire d'appareils de charge automatiques ; leurs grilles sont mobiles et actionnées par un moteur électrique de 5 chevaux ; les produits de la combustion sont également extraits automatiquement des cendriers et entraînés dans des réservoirs situés dans le sous-sol. Tout le charbon utilisé est pesé avant son entrée dans les foyers et enregistré au fur et à mesure par une bascule-compteur automatique.

L'eau d'alimentatiou est puisée dans un réservoir contenant environ 220 000 litres d'eau situé au-dessus des chaudières et dans lequel est recueillie l'eau de la condensation après clarification ainsi que l'eau des pluies provenant des toits de l'usine.

Les dimensions de la salle des machines sont calculées pour l'installation de 7 grands groupes générateurs dont 5 sont déjà en fonction ; 3 d'entre eux se composent chacun d'un moteur Willans de 375 chevaux couplé directement à un alternateur Oerlikon de 330 kilowatts ; les deux autres, plus puissants, sont formés chacun d'un moteur semblable au précédent mais de 825 chevaux et d'un alternateur Oerlikon de 550 kilowatts. Les premiers groupes font 300 et les seconds 270 révolutions par minute. La lubrification des pièces mobiles s'effectue à l'aide d'un mélange d'huile à cylindre avec du graphite pur pulvérisé.

Les alternateurs sont du type triphasé à inducteurs tournants et produisent du courant à 5 250 volts sous 45 cycles. Ils reçoivent le courant continu nécessaire à leur excitation de deux petits groupes Willans-Parker, d'un moteur générateur ou d'une batterie d'accumulateurs.

Le tableau de distribution est séparé en cinq sections : 1° les panneaux du service de la basse tension, comprenant les excitatrices, accumulateurs, force motrice et éclairage de l'usine ; 2° les trois alternateurs de 330 kilowatts et le moteur-générateur ; 3° les appareils de la distribution sur les feeders du réseau de la Notting Hill Company ; 4° les deux alternateurs de 550 kilowatts ; et 5° les feeders du réseau de la Kensington Company. A l'exception de quelques voltmètres électrostatiques Kelvin, tous les autres appareils de mesure employés sont du type Hartmann et Braun à fil chaud.

A part quelques modifications qui ont été introduites dans les sous-stations nouvellement créées en addition aux anciennes, les deux Compagnies, qui exploitaient chacune un réseau à trois fils à 220 volts ont conservé les mêmes installations en les mettant, bien entendu, en rapport avec la nouvelle et unique source génératrice de courant.

La totalité du courant produit à l'usine est amenée aux sous-stations par 10 feeders souterrains. L'équipement de ces dernières se compose de groupes convertisseurs formés de moteurs générateurs Oerlikon d'une puissance variant de 180 à 200 kilowatts pour les unes et de 60, 180 et 300 kilowatts pour les autres. Le démarrage des moteurs-générateurs de 300 kilowatts s'obtient à l'aide d'un rhéostat liquide, l'intensité du courant en cette occasion s'élevant jusqu'à 700 ampères environ. Chaque sous-station est reliée à l'usine génératrice par des sonneries et des postes téléphoniques. L. D.

TRACTION

Chemin de fer électrique à crémaillère Gênes-Granarolo. — L'ingénieur D. Pellegrino donne dans le *Giornale del Genio Civile* une description très détaillée du nouveau chemin de fer électrique à crémaillère Gênes-Granarolo, description dont le *Bulletin de la Société des Ingénieurs civils* donne le résumé suivant :

Cette ligne a été ouverte à l'exploitation dès les premiers jours de cette année. Elle a son point de départ à Gênes à l'origine de la route communale dite *Salita di San Rocco*, dans le voisinage de la Piazza Principe ; elle suit d'abord cette route en empruntant son sol pendant 138 m puis suit un tracé spécial jusqu'à Granarolo qui est un faubourg de Gênes. La voie a un développement de 1 135 m en projection horizontale : la différence de niveau entre les extrémités est de 195,50 m : la rampe moyenne est de 17,15 p. 100, mais les déclivités varient entre 10 et 20,15 p. 100. La ligne est à voie unique, sauf un croisement au milieu ; le rayon des courbes varie entre 200 et 80 m.

Sur la voie publique, la ligne est surélevée de 0,15 m et occupe une largeur de 3 m en laissant un espace de 2,80 pour la circulation des piétons et des mulets ; il y a une séparation formée par une balustrade en fer de 0,80 m de hauteur. Dans la partie propre du tracé la plateforme a une largeur de 3,60 m à 4,05 m, elle est tantôt en remblai, tantôt en tranchée sur le flanc de la colline de Granarolo. Au croisement la largeur atteint 6,30 m.

Il y a deux stations très simples, une à chaque extrémité ; elles sont reliées par téléphone. Il y a deux passages à niveau, l'un pour un chemin muletier, l'autre pour une route stratégique qui relie les forts de Gênes à la batterie Granarolo.

Les rails sont en acier, à patin, du poids de 21 kg, par mètre courant ; ils sont fixés sur des traverses qui portent également la crémaillère de manière que la

partie supérieure du champignon soit au même niveau que le haut de la crémaillère. Les traverses sont appuyées contre de forts massifs de maçonnerie encastrés dans le sol et dont le but est de prévenir la descente de la voie dans le sens de la pente. L'écartement intérieur des champignons des rails est de 1,20 m.

La crémaillère du système Riggenbach est placée dans le milieu de la voie. Les fers qui la composent ont 0,18 m de hauteur et ont leurs rebords inégaux, le plus large portant sur la traverse. Les dents, écartées de 0,10 m de centre en centre, sont fixées dans les fers latéraux par deux parties tournées au diamètre de 35 mm et tronquées sur 10 mm de hauteur pour les empêcher de tourner ; les dents, à section trapezoïdale, ont 32 mm de hauteur et des bases de 29 et 42 mm.

Le croisement s'opère par deux déviations symétriques, sans pièces mobiles. Les roues de chaque voiture ont d'un côté de l'essieu des gorges, de l'autre des jantes plates. Le croisement se fait automatiquement, les roues à gorge suivent le rail extérieur continu qui les guide et les roues à jante plate passent sur les coupures de la voie. Cette disposition est d'ailleurs connue et employée déjà sur divers funiculaires. Les voitures sont automotrices ; elles sont disposées de telle sorte que le plancher est horizontal sur une déclivité de 10 p. 100. L'écartement des essieux est de 1,72 m. Les roues ne sont pas calées sur les essieux, ceux-ci portent au miliuu une roue dentée en acier fondu, de 18 dents qui engrène avec la crémaillère. Chaque roue est actionnée par un électromoteur à courant continu pouvant développer au maximum 30 chevaux sous une tension moyenne de 500 volts. Ces moteurs sont à suspension élastique ; l'axe de l'induit porte une poulie à frein et une roue à rochet de 9 dents, laquelle engrène avec une autre roue de 60 dents calée sur un arbre auxiliaire ; sur ce même arbre est calée une roue de 25 dents engrenant, elle aussi, avec une roue de 40 dents calée sur l'essieu de la voiture et actionnant la roue dentée de la crémaillère. A chaque électro-moteur correspond une caisse de résistance placée sur le toit de la voiture et un rhéostat régulateur placé sous le plancher.

La prise de courant se fait au moyen d'un trôlet. La descente s'opère par la gravité, les moteurs font frein en se transformant en générateurs de courant. Les régulateurs en variant les résistances règlent à volonté la descente. En dehors de ce système de frein qui sert exclusivement à la descente, la voiture porte deux freins à main ; l'un est constitué par des sabots pouvant serrer des poulies calées sur les essieux de la voiture et calant par conséquent les roues dentées engrenant avec la crémaillère. Ces sabots peuvent être arrosés avec de l'eau contenue dans un réservoir placé sous les banquettes.

L'autre frein est constitué par une bande d'acier s'appliquant sur la poulie calée sur l'axe du moteur et dont il a été question ci-dessus.

La caisse de la voiture comprend un compartiment central et deux plates-formes fermées, le tout pouvant recevoir 30 personnes. A chaque extrémité est une plate-forme ouverte et plus petite, l'une pour le machiniste l'autre pour le garde-frein. L'éclairage se fait par un courant dérivé du courant principal.

Les conducteurs aériens sont formés de deux fils de cuivre du diamètre de 8 mm, suspendus, avec une double isolation, à des consoles portées par des concolonnes en fer à 4,50 m, au-dessus du niveau des rails. Chaque fil sert pour une des voitures qui peuvent se trouver simultanément sur la voie. Le courant continu vient par un câble spécial de l'usine électrique de Gênes, à la tension de 550 volts. Le retour du courant s'opère par les rails.

Le service se fait avec deux voitures qui partent ensemble des deux extrémités de la ligne et se croisent aû milieu. Les courses se succèdent à des intervalles de 20 minutes. En cas d'accident à une des voitures, on fait le service avec une seule avec un plus grand intervalle entre les courses.

Le parcours simple s'effectue en 14 minutes, y compris le temps nécessaire pour deux arrêts réguliers, l'un au croisement, l'autre à proximité du passage à niveau de San Rocco. La vitesse moyenne ressort à 5,5 km à l'heure, la vitesse maxima que le frein électrique ne permet pas de dépasser à la descente est de 8 km. En cas d'urgence, l'arrêt, à cette dernière vitesse, peut être effectué sur une longueur de 1 m.

Le personnel se compose d'un machiniste et d'un garde-frein. Le premier, qui se tient sur la plate-forme avant, a sous la main le régulateur du courant le frein électrique, les freins d'avant à sabots et à bande. Le garde-frein qui fait aussi fonction de conducteur, se tient aussi sur la plate-forme arrière et peut manœuvrer, en cas de besoin, les freins d'arrière à sabots et à bande. Les deux agents communiquent ensemble par le moyen d'une cloche à la portée de chacun.

Le matériel électrique des voitures a été fourni par la Compagnie de l'Industrie Electrique de Genève, les voitures par la maison Diatto frères, de Turin et la crémaillère et le croisement par les usines de Roll en Suisse.

ÉLECTROCHIMIE

L'acétylène à l'exposition Pan-Américaine de Buffalo. — Nous lisons dans la *Revue générale de Chimie pure et appliquée*, du 6 octobre, l'article suivant de M. Maurice-H. Pignet :

Parmi les nombreuses industries qui auront été représentées cette année à l'exposition pan-américaine, il en est peu qui ont occupé une aussi grande place que l'industrie de l'acétylène.

C'est en réalité la première fois que le carbure et l'acétylène figurent à une exposition importante aux Etats-Unis.

En effet, l'acétylène n'était pas représenté parmi les moyens d'éclairage à la dernière grande Exposition, l'Exposition Universelle de Chicago en 1893, — et pour une raison bien simple, c'est qu'à cette époque, carbure et acétylène étaient au point de vue industriel totalement inconnus, quoi qu'en dise M. Thomas-L. Willson.

Loin de vouloir éclipser l'acétylène, comme on l'a fait l'an dernier à Paris et à certaines autres expositions où le nouveau gaz ne semblait être que toléré, les organisateurs de l'exposition pan-américaine ont tenu à bien mettre l'acétylène en évidence et rien n'a été négligé pour cela.

En effet, les divers produits exposés à Buffalo par les acétylénistes américains et qui montrent si bien l'immense progrès réalisé dans cette branche d'industrie pendant ces dernières années, sont réunis dans un pavillon spécial, de construction élégante, que l'on a dénommé à Buffalo le Temple de l'Acéty-

CH. MILDÉ FILS & CIE

SIÈGE SOCIAL : 60, rue Desrenaudes** (avenue Niel), **PARIS

ATELIERS POUR ENTREPRISE DE CONSTRUCTION ET DE RÉPARATION DE VOITURES AUTOMOBILES ÉLECTRIQUES DE TOUS SYSTÈMES

7 *bis*, rue DEGUINGAND, LEVALLOIS — Téléphone 517-52

MOTEURS — COMBINATEURS — INTERRUPTEURS — RHÉOSTATS — TABLEAUX DE CHARGE — CHASSIS — FREINS — PIÈCES DÉTACHÉES

Moteur électrique différentiel : à 2 induits brev. S. G. D. G. à grand rendement, supprimant le différentiel et les chaînes

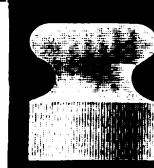
FREIN PROTÉGÉ POUR LES DEUX SENS DE MARCHE, BREVETÉ S. G. D. G.

Dynamos et moteurs à courant continu et alternatif, monophasé et triphasé, pour lumière, force et groupes de charge depuis 0,2 jusqu'à 20 kilowats.

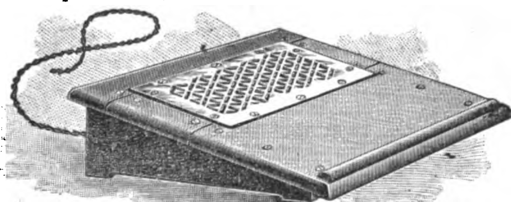
DEVIS ET TRAVAUX A FAÇON SUR PLANS — EXÉCUTION RAPIDE — PRIX MODÉRÉS

Société Anonyme des anciens Établissements

PARVILLÉE FRÈRES & CIE



Capital : 1,000,000 de fr. — Siège social : 29, rue Gauthey, PARIS, 17^e



Chauffe-pieds électrique pour Bureaux, n° 182.

PORCELAINES & FERRURES

pour l'Électricité

✱ ✱ ✱

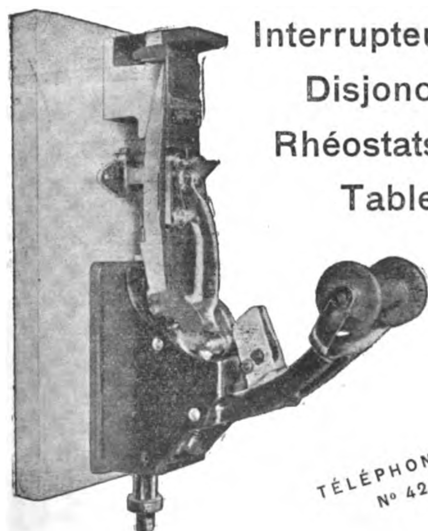
CHAUFFAGE ÉLECTRIQUE

✱ ✱ ✱

Adresse télégraphique : CÉRAMIQUE-PARIS

Téléphone : 510-72

Matériel Électrique





Disjoncteur type « **Traction** ».

George Ellison

PARIS-17e — 66-68, rue Claude-Vellefaux

Usine à Bezons (Seine-et-Oise)

ANCIENS ÉTABLISSEMENTS

Usine à Calais (Pas-de-Calais)

RATTIER & MENIER

SOCIÉTÉ IND^lle DES TÉLÉPHONES

Constructions électriques, Caoutchouc, Câbles

Société anonyme au capital de 18,000,000 de francs

PARIS, 25, rue du 4-Septembre, PARIS

CABLES ELECTRIQUES de tous systèmes.
CABLES pour lumière (Hautes et Basses tensions).
CABLES pour transport de force.
CABLES pour traction électrique.
CABLES pour télégraphie et téléphonie, etc., etc.
} Isolés au caoutchouc, isolés à la gutta-percha, isolés au papier et jute imprégnés, isolés au papier et à circulation d'air sec, sous rubans, tresses et guipages, sous plomb, sous armature de feuillards ou de fils d'acier.

APPAREILS TELEPHONIQUES système Ader et Berthon.
APPAREILS TELEGRAPHIQUES Morse, Hughes, etc.
APPAREILS ELECTRIQUES de toutes sortes, signaux de chemin de fer, avertisseurs d'incendie, etc., etc.
APPAREILLAGE pour lumière électrique, coupe-circuits, interrupteurs pour hautes et basses tensions, tableaux de distribution etc., etc.

CAOUTCHOUC
GUTTA-PERCHA
EBONITE
BOIS DURCI
IVORINE
EBURINE
} pour toutes les applications et en particulier pour l'industrie électrique.

COURROIES en caoutchouc et **COURROIES BALATA** pour dynamos et moteurs électriques.

Usine à Paris 7, rue du Théâtre

Fournisseur de toutes les grandes Administrations en France et à l'Etranger

Usine à Paris 2, rue des Entrepreneurs

lène, et qui est situé non loin du Palais de l'Electricité et du Palais de la Mécanique.

Ce pavillon, de dimensions assez vastes, puisqu'il ne mesure pas moins de 100 pieds sur ses deux façades, est bien éclairé par de larges baies et surtout bien aéré ; on a observé, dans sa construction, toutes les conditions nécessaires pour permettre de faire fonctionner tous les générateurs exposés.

Les espaces laissés libres entre les vastes arcades qui percent les murailles sont coquettement ornés de panneaux auxquels il eût été difficile d'allouer une place mieux appropriée, attendu qu'ils représentent les progrès réalisés dans l'éclairage artificiel depuis les âges les plus reculés jusqu'à nos jours. On y voit les quinquets à l'huile des temps classiques, succédant aux primitives bougies de cire et aux torches de résine ; puis viennent les moyens d'éclairage plus modernes ; la lampe à pétrole et le bec de gaz qui paraît bien pâle à côté de la brillante flamme de l'acétylène, qui domine le tout et devant laquelle tous les autres modes d'éclairage s'éclipsent.

Mais, si le pavillon de l'acétylène attire, pendant le jour, de nombreux visiteurs qui circulent émerveillés devant les stands que nous passerons en revue tout à l'heure, c'est surtout le soir, à l'heure où il est brillamment illuminé, que ce pavillon mérite d'être visité.

Les acétylénistes du Nouveau Monde ont jugé, et avec raison, que le meilleur moyen de faire ressortir les précieux avantages de l'acétylène était d'en montrer l'éclatante lumière. Aussi, n'a-t-on pas installé moins de 5 800 brûleurs à acétylène, tant pour l'éclairage intérieur que pour l'éclairage extérieur du monument. Le soir venu, de longues rampes composées de milliers de brûleurs à acétylène courent le long des corniches et des balustrades, tandis qu'au faîte du pavillon se détache en lettres gigantesques, également composées de brûleurs à acétylène, le mot A.C.E.T.Y.L.E.N.E. Les installateurs ont su tirer parti pour l'éclairage des moindres fresques et motifs décoratifs, œuvres de l'architecte W.-W. Bosworth.

Intérieurement, le pavillon est éclairé par plusieurs grands lustres dont les nombreux globes répandent, dans les coins les plus reculés, des flots de lumière. Indépendamment de ces grands lustres, qui comportent douze globes chacun, l'éclairage intérieur est encore assuré par des arceaux, peints en blanc, de 12 pieds de hauteur, comportant chacun dix becs à acétylène, de cinquante bougies chacun, enfermés dans des globes de forme prismatique. Ces arceaux encadrent élégamment les stands des exposants.

L'exposition la plus imposante est certainement celle de la J.-B. Colt Company de New-York, qui couvre à elle seule le huitième de l'espace total réservé aux exposants. Dans la partie ouest de son stand, la Colt Company a exposé toute une série d'appareils générateurs de toutes tailles et de tous modèles qu'elle a construits. Cette exposition de générateurs est, en quelque sorte, une exposition rétrospective, car on y voit les types de générateurs les plus variés, depuis les modèles les plus primitifs, jusqu'aux appareils à chute du carbure dans l'eau, de construction toute récente, en passant par d'autres générateurs qui montrent bien les perfectionnements successifs. Le générateur qui attire le plus l'attention est un générateur capable d'alimenter mille brûleurs de vingt-cinq bougies, et comportant un gazomètre unique et deux chambres de génération, fonctionnant indépendamment l'une de l'autre. Ce générateur monstre fonctionne journellement. Il y a également un générateur pour 150 brûleurs, comportant un gazomètre séparé et un autre générateur dans lequel le générateur et le gazomètre sont combinés ainsi que divers autres modèles. Mais ce qui attire plus particulièrement l'attention des visiteurs, ce sont deux modèles de phares à acétylène, qui fonctionnent, tournent et projettent, l'un un feu blanc, l'autre un feu rouge et deux feux blancs. On peut admirer également deux grands projecteurs à acétylène, dont l'un projette des rayons de 600 à 1 000 pieds de longueur suivant l'atmosphère, le second étant de capacité moindre. Dans ces projecteurs, le double réflecteur parabolique développe un rayon lumineux dont le pouvoir éclairant égale 2 500 bougies. On peut encore voir ici d'autres accessoires pour l'acétylène tels que : réchauds et appareils de chauffage, becs Bunsen, lampes pour dentistes et chirurgiens, lampes pour photographes et lampes pour agrandissements des photographies. Comme on le voit, cette exposition ne manque pas d'intérêt.

A côté, sur la plateforme centrale, se trouvent les générateurs construits par la Eagle Generator Company, de Saint-Louis. Ici rien que des générateurs depuis 300 jusqu'à 20 becs. Ensuite et toujours sur la même plateforme, vient l'exposition plus attrayante de la Sunlight Gas Machine Company, de New-York. Le modèle le plus remarquable qui se trouve exposé ici consiste en un élégant appareil tout en nickel, capable d'alimenter 30 becs et destiné à démontrer le principe d'après lequel fonctionne le générateur, dénommé le « sous-marin », principe qui consiste à noyer le carbure dans une grande masse d'eau, de manière que le gaz soit rafraîchi et épuré au fur et à mesure de sa production. Le stand de cette maison est entouré d'une superbe main courante nickelée qui porte des lampadaires à acétylène du plus bel effet, aux angles et au centre, entre les deux côtés.

Il convient de citer comme très originale l'exposition de l'Electro Lamp Company, qui occupe pour ainsi dire le centre du pavillon et qui attire surtout la vue, grâce à une immense pyramide formée de plusieurs centaines de bidons de toutes tailles contenant les différentes qualités de carbure que fabrique cette Société.

Lorsqu'on entre dans le pavillon de l'acétylène par la porte ouest, la première exposition que l'on voit est celle de la Pan-American Acetylene Company, de Buffalo. Cette maison a groupé là plusieurs générateurs de sa fabrication dont l'un présente le grand avantage de combiner le générateur et le gazomètre sous un volume des plus restreints. Pour rendre son exposition encore plus brillante, on a doublé ici les arcades dont nous avons parlé plus haut. On voit encore à ce stand, les générateurs, système Nordlight, qui fonctionnent constamment et fournissent la lumière à plusieurs autres bâtiments de l'exposition et notamment au pavillon de l'Etat de l'Ohio (Ohio State Building) qui comporte à lui seul 650 becs et est exclusivement éclairé intérieurement et extérieurement au gaz acétylène.

L'exposition de la Union Carbide Company de New-York sort tout à fait de l'ordinaire. C'est en effet là qu'on a installé dans un angle une chambre obscure qui permet de se rendre compte à toute heure du jour de la beauté et de la clarté de la flamme de l'acétylène. Pour permettre d'établir une comparaison, on a installé dans cette chambre obscure un lustre central à six branches dont trois branches por-

des statuts d'une société qui vient de se fonder sous le nom de « Société française de télégraphie et de téléphonie sans fil ». Suivant les principes adoptés par *L'Éclairage Électrique* nous nous bornerions à enregistrer la formation de cette nouvelle société si en même temps que ce résumé des statuts nous n'avions reçu un exposé technique qui appelle non seulement la discussion, mais encore la critique.

Cet exposé technique nous apprend en effet que le système de télégraphie sans fil que se propose d'appliquer la Société est le système de l'ingénieur russe Pilsoudsky basé sur la différence de conductibilité des couches terrestres, système que M. Villot, inspecteur des Télégraphes, exposait l'an dernier au Congrès international d'électricité et qui fut l'objet, en juillet dernier, d'expériences effectuées au Vésinet.

N'ayant pas le don d'ubiquité, nous n'avons pu, retenu aux séances des autres sections du Congrès, assister à la séance de la section de télégraphie dans laquelle M. Villot a exposé le « merveilleux système » de M. Pilsoudsky ; aussi nous sommes-nous bornés à signaler cette communication sans commentaire dans le compte rendu que nous avons donné du Congrès (t. XXIV, p. 490) ; nous pouvons dire aujourd'hui que ce qui a étonné ceux qui en ont eu connaissance est moins l'originalité de la conception de M. Pilsoudsky que la naïveté de celui qui a pris la responsabilité de l'exposer.

Quant aux essais faits au Vésinet, nous en avons

rendu compte dans notre *Supplément* du 13 juillet 1901. Par suite de la faible distance des stations, 500 m, l'emploi, en chacune d'elles, d'un fil aérien pouvant être assimilé à une antenne, nous faisions toutes réserves sur leur valeur démonstrative : nous émettions l'hypothèse que les ondes pouvaient tout aussi bien être transmises par l'air (et alors il n'y avait rien de nouveau) que par les couches terrestres ; nous ajouterons que nous n'avons jamais compris comment on pouvait utiliser la conductibilité de ces couches puisque les ondes hertziennes ne se propagent que dans les milieux diélectriques et sont très rapidement amorties dans les milieux conducteurs. Des critiques analogues ont d'ailleurs été faites par tous les journaux techniques. Aussi, sommes-nous quelque peu surpris de lire dans l'exposé technique que ces essais ont eu un succès « dont la presse tout entière a retenti ». Sans doute M. Popp ne considère-t-il que la presse quotidienne qui, en effet, publia nombre d'articles élogieux — mais, à quel prix la ligne ? — sur ces expériences.

Nous demandions, nous, de nouveaux essais. Il paraît, toujours d'après l'exposé technique, qu'ils ont été faits, et même à deux reprises; les uns furent effectués entre la *Gascogne*, affrétée par *le Figaro* pour la revue navale de septembre, et la plage de Malo-les-Bains, près de Dunkerque ; les autres eurent lieu aux manœuvres de l'Est; la distance franchie dans les premiers atteignit 3 km; celle franchie dans les seconds, 7 km. Les correspondants des journaux quotidiens ne nous disent rien — et pour cause — des dispositifs employés, toutefois nous trouvons dans les relations que donnent de ces essais *le Figaro* et *le Temps* un renseignement qui a sa valeur en la circonstance et qui prouve que le proverbe « Mieux vaut un sage ennemi qu'un sot ami », est toujours vrai. *Le Figaro* ne dit-il pas : « Pendant ce temps, *par dessus* la double ligne de cuirassés, *par dessus* cette masse de fer, ..., les mots se transmettent... » Et *le Temps* : « Le courant est dirigé *sur l'antenne*, qui est constituée par un simple conducteur isolé, lié à la corde d'attache du ballonnet de manière à en porter l'extrémité a une certaine hauteur au-dessus du sol. » Mais alors, quel rôle jouent les couches terrestres dans la transmission et que devient le « merveilleux » procédé de M. Pilsoudsky ?

Nous pourrions continuer longtemps si nous voulions relever toutes les inconséquences et, disons le mot propre, toutes les inepties de l'exposé technique. Ce que nous en avons dit suffit amplement à montrer que nous nous trouvons en présence d'une vaste... mystification du public. Aussi sommes-nous fort étonné de voir figurer en tête du Comité de direction de la nouvelle société et comme président du comité technique le nom de M. Branly ; il doit y avoir eu surprise ; mieux renseigné, l'honorable professeur de l'Institut catholique eût sans nul doute refusé cette fonction qui, en la circonstance, paraît être uniquement celle du miroir à alouettes. Et puisque nous entrons dans le terrain des personnalités, ajoutons que M. Ducretet, dont le nom a été cité en parlant des essais du Vésinet, a jugé bon de ne pas entrer dans les combinaisons de la nouvelle société ; nous ne pouvons que l'en féliciter.

SOCIÉTÉS INDUSTRIELLES

Société française des télégraphes et téléphones sans fil. Sous cette dénomination vient de se fonder une société civile ayant pour objet :

1° La recherche et l'étude de tous les procédés et découvertes relatifs à la production et à la transmission du fluide électrique;

2° La création, l'acquisition, l'expérimentation et la mise en valeur de tous brevets relatifs à la production et à la transmission électrique et notamment à la télégraphie sans fil;

3° La cession des licences ou de la propriété de ses

brevets à des Etats ou à des tiers pour leur exploitation directe.

La Société peut réaliser son objet, soit par la prise de participation dans telle entreprise qu'elle avisera, soit par la constitution des Sociétés spéciales en France et à l'étranger. Elle peut aussi faire apport et céder sous une forme quelconque son actif et, accessoirement, faire telles opérations qu'elle jugera utiles et nécessaires en vue de la complète ou meilleure réalisation de son objet principal.

Le fonds social est divisé en 200 000 parts de propriété et d'intérêt, dont 120 000 réservées au capital-espèces de la Société; le surplus attribué aux inventeurs et apporteurs, en paiement de leurs brevet et apport.

Chaque part donne droit à un 200 000e dans les bénéfices de la Société et dans l'actif social.

Les parts d'intérêts sont au porteur.

La Société sera administrée et représentée vis-à-vis des tiers par un Comité de direction, composé de trois membres au moins, de neuf au plus, pris parmi les associés.

Les actes et engagements concernant la Société seront signés par deux membres du Comité.

Le Comité de direction partagera entre ses membres, ainsi qu'il avisera, la part de 10 p. 100 des bénéfices nets qui lui est attribuée statutairement pour sa gestion.

Un inventaire, ou état de situation de la Société, sera dressé au trente et un décembre de chaque année et pour la première fois le trente et un décembre mil neuf cent deux.

Une Assemblée générale ordinaire aura lieu chaque année au siège social, ou en tout autre endroit fixé par le Comité de direction.

En outre, l'Assemblée générale pourra être réunie extraordinairement à toute époque par le Comité de direction.

Les décisions de l'Assemblée seront prises à la majorité des voix des membres présents; chaque associé aura autant de voix qu'il possédera ou représentera de parts, sans limitation.

L'Assemblée générale entendra et approuvera le rapport du Comité de direction sur la situation de la Société.

Elle approuvera la distribution des dividendes à prendre sur les bénéfices de la Société, sans pouvoir contester les emplois et amortissements décidés par le Comité de direction.

Les fonds réunis par la vente d'une série de 80 000 titres de propriété, au prix minimum de 30 fr par titre, sont destinés aux travaux et créations suivants :

1° Création d'une ligne de télégraphe sans fil entre Paris, Rouen et le Havre (procédé à proposer à l'Etat français et aux gouvernements étrangers);

2° Création d'une voiture automobile de télégraphie sans fil pour les services militaires (procédé à proposer à l'Etat;

3° Etude et ensuite constitution d'une Société pour les explosifs à faire éclater à distance, au moyen des ondes électriques;

4° Etude et constitution d'une Société pour la télégraphie sans fil appliquée aux usages privés (domaines, usines, mines, châteaux, etc., etc.).

5° Etude et constitution d'une Société de transformateurs des calories en électricité;

6° Etudes et expériences pour la création d'une ligne télégraphique entre Marseille et Alger; entre Brest et les Iles des Açores; entre Terre-Neuve et New-York;

7° Etudes de divers procédés et brevets d'applications pour la télégraphie et pour la production et la distribution du courant électrique.

AVIS

A vendre, une collection partielle de *La Lumière Electrique :*

Tome I à X inclus complets et reliés ; tomes XIII à XXI, XXV à XXVII, XXIX à XXXIV, complets et en fascicules; dans les intermédiaires manquent 15 numéros.

BIBLIOGRAPHIE

Il est donné une analyse bibliographique des ouvrages dont **deux** *exemplaires sont envoyés à la Rédaction.*

Ueber die Entdeckung der elektrischen Wellen durch H. Hertz und die weitere Entwickelung dieses Gebietes, par **Ernst Lecher.** Une petite brochure in-8°, 32 pages, *Johann Ambrosius Barth*, éditeur, Leipsig. Prix : 1,20 mark.

Cet opuscule est la reproduction du dissours prononcé par le Docteur E. Lecher à l'assemblée des physiciens allemands à Hambourg, le 23 septembre 1901. Le sujet traité, *Découverte des ondes électriques et leurs applications*, est plein d'actualité et le savant professeur a su le résumer d'une façon concise, sans oublier, cependant, aucun des hommes qui ont contribué à son développement; c'est l'exposé, en quelques mots, de tout cet enchaînement de découvertes qui ont abouti à la télégraphie sans fil.

Tome XXIX Samedi 28 Décembre 1901. 8e Année. — N° 52

L'Éclairage Électrique

REVUE HEBDOMADAIRE DES TRANSFORMATIONS
Électriques — Mécaniques — Thermiques
DE
L'ÉNERGIE

SOMMAIRE

Adresser tout ce qui concerne la Rédaction à M. J. BLONDIN, 171, Faubourg Poissonnière (9e arrondissement).
M. BLONDIN reçoit, 3, rue Racine, le jeudi, de 2 à 4 heures.

NOUVELLES ET ÉCHOS

Exposition de l'Automobile, du Cycle et du Sport. — Parmi les nombreuses installations qui occupent actuellement le Grand-Palais, nous signalerons aujourd'hui celle de notre confrère l'*Auto-Vélo*.

Le journal l'*Auto-Vélo* a, en effet, réalisé à l'Exposition d'automobiles une installation tout à fait intéressante et qui peut être regardée comme un exemple de types de procédés industriels modernes : l'utilisation de l'alcool pour produire la force motrice et de l'électricité pour le transport. Les récepteurs sont des lampes à arc et à incandescence, différents moteurs parmi lesquels ceux des presses à imprimer et des linotypes. Une édition de l'*Auto-Vélo* est en effet imprimée chaque jour à l'Exposition même et les visiteurs peuvent suivre toutes les phases du travail, depuis la rédaction jusqu'à l'apparition du journal plié au sortir de la presse rotative, en passant par la composition à l'aide des linotypes et par le clichage. Enfin un supplément illustré est tiré également au Stand sur une machine plate.

Nous donnons ci-après quelques renseignements sur l'installation électrique :

Les machines électriques, toutes construites par la « Française Electrique », sont du type protégé à quatre pôles et à quatre rangées de balais avec pièces polaires feuilletées et bobinage en tambour. Elles sont munies d'un graissage à bagues et de balais en charbon. Tous les organes, partie mécanique ou électrique, sont exécutés sur calibres et cette construction en série assure la rigoureuse interchangeabilité des pièces de même nature.

La génératrice peut débiter 200 ampères sous 120 volts à la vitesse de 800 tours par minute ; elle est munie d'une poulie-volant pesant 125 kg. Le poids total de la machine ne dépasse pas 825 kg. Elle est montée sur un socle à glissière avec rappel par vis axiale et est actionnée par une courroie Scellos de 230 mm de largeur.

La presse rotative est actionnée, à l'aide d'une courroie croisée, par un moteur pouvant fournir sur l'arbre une puissance de 12 chevaux sous la tension de 110 volts et à la vitesse de 900 tours par minute. Le poids est de 350 kg. La presse peut tirer 22000 exemplaires à l'heure.

La presse en blanc est commandée par courroie par un moteur de 2 chevaux et demi, à la vitesse de 550 tours par minute, pour une tension d'alimentation de 110 volts. Le poids de ce dernier moteur est de 200 kg.

Ces deux moteurs sont également supportés par des socles à glissières avec rappel à vis.

Le tableau général de distribution, de George Ellison, comporte cinq circuits, l'un, interrompu par un disjoncteur à maxima en série avec un interrupteur, est le circuit de transmission d'énergie à l'imprimerie, les quatre autres commandés par un interrupteur général et comportant chacun un interrupteur bipolaire, sont destinés à des usages divers d'éclairage (arcs, lampes à incandescence, tableau lumineux) ; un départ alimente en outre le moteur qui actionne l'hélice du ballon « la France » (colonel Renard). Le tableau est complété par le rhéostat de la génératrice, un voltmètre, un ampèremètre et les fusibles nécessaires.

Les lampes à arc sont montées en deux circuits de 3 lampes en série ; ce sont des lampes de 10 ampères, les unes sont de Bardon (usine génératrice), les autres de Vigreux et Brillié (imprimerie).

Le moteur à alcool, de la Société générale des industries économiques (Charon), peut fournir 35 chevaux à la vitesse de 190 tours par minute. A pleine charge, il consomme environ 380 litres d'alcool pur par cheval-heure. Au Grand-Palais, le refroidissement du cylindre est fait par l'eau sous pression de la distribution générale.

Deuxième Congrès national d'Electricité de Moscou. — Du 10 au 18 janvier 1902, aura lieu, à Moscou, le deuxième congrès national d'électricité, organisé par le comité permanent des congrès électrotechniques russes de Saint-Pétersbourg, Panteleïmonovskaya, où les cotisations (10 roubles), pour participer au congrès, sont reçues jusqu'au 2 janvier inclusivement.

Nous donnons ci-dessous les principales questions proposées aux congressistes ; on voit qu'elles embrassent toutes les branches de l'électrotechnique, et qu'une large part est réservée à la discussion des conditions d'avancement de la science et de l'industrie électrotechnique en Russie.

Une exposition et des visites d'usines complètent d'une façon pratique le but du congrès.

Nous donnerons ultérieurement l'analyse des communications intéressantes faites au congrès.

QUESTIONS PROPOSÉES

1. Progrès récents de l'électrotechnique.
2. Etat actuel du transport de l'énergie électrique à grande distance.
3. Transformation de l'énergie électrique en énergie thermique.
4. Transformation directe de l'énergie chimique en énergie thermique ou en énergie électrique.
5. Application de la traction électrique aux chemins de fer.
6. Tramways électriques urbains et suburbains.
7. Tonnage électrique.
8. Accumulateurs.
9. Utilisation du courant électrique, continu, mono ou polyphasé, leurs applications.
10. Application du courant électrique à la purification de l'air et des eaux.
11. Industries électrochimiques.
12. Télégraphie sans fil.
13. Transmission des signaux par l'électricité, progrès récents.
14. Progrès récents de la construction des générateurs électriques, moteurs et transformateurs.
15. Electrométallurgie.
16. Automobiles électriques.
17. Eclairage électrique des trains.
18. Meilleurs moyens de transformation de l'énergie hydraulique en énergie électrique.
19. Conditions de fonctionnement des machines à vapeur destinées à l'éclairage électrique.
20. Stations centrales pour la production et la distribution de l'énergie électrique, meilleurs types pour nos villes et usines.
21. Données comparatives concernant l'installation des électromoteurs dans les usines et ateliers.
22. Couplage des alternateurs en parallèle.
23. Isolement des réseaux électriques, appareils de surveillance et de contrôle.
24. Conditions à remplir pour réaliser une canalisation aérienne à haute tension, exempte de dangers.
25. Sur l'action nuisible des courants dérivés.
26. Sur les meilleurs compteurs d'électricité en usage. Résultats d'application.
27. Application de l'électricité à la médecine.
28. Application de l'électricité à l'agriculture.
29. Etat actuel de la culture électrique.
30. Inspection de l'Etat au sujet de la surveillance des installations électriques dans les villes.
31. Elaboration du projet de réglementation des stations électriques pour le transport de l'énergie électrique à grande distance.
32. Sur les essais et la réception des installations électriques.
33. Moyens possibles pour une municipalité d'entreprendre une installation électrique.
34. Sur la description technique des forces hydrauliques et sur la nécessité de concentrer la possession des chutes d'eau et les courants des fleuves entre les mains du gouvernement.
35. De l'influence du tarif douanier en vigueur sur le développement de l'industrie électrotechnique en Russie.
36. Elaboration de la terminologie scientifique et technique dans l'électricité et ses applications.
37. Sur l'entente mutuelle de tous les électriciens russes pour utiliser dans les projets et travaux uniquement le système métrique.
38. Sur la nécessité d'installer des laboratoires municipaux et de l'Etat pour les essais des matériaux et appareils électrotechniques, ainsi que pour le contrôle de ces derniers.
39. Quel devrait être le type d'une école élémentaire d'électricité :
    a. pour les élèves sortant des écoles primaires;
    b. pour les ouvriers adultes.
40. Quelles conditions doit remplir une école d'électricité moyenne, enseignement de cette école.
41. Cours et conférences sur l'électrotechnique pour des personnes ayant une instruction moyenne générale.
42. Sur l'instruction supérieure de l'électrotechnique.
43. Nécessité de l'installation à bref délai des écoles électriques.
44. Entreprises électrotechniques étrangères en Russie.
45. Nécessité des statistiques sur :

a. les entreprises électrotechniques, sociétés, usines et fabriques;
b. l'importation en Russie des matériaux et machines électriques;
c. l'éclairage électrique des trains.

46. Mesures à prendre pour la création d'usines de production des générateurs, électro-moteurs et transformateurs électriques.
47. Etat de la fabrication des appareils de mesure, appareils et accessoires de télégraphie et de téléphonie, mesures à prendre pour le développement de cette industrie en Russie.
48. Câblerie, mesures à prendre pour son développement.
49. Possibilité de fabriquer des lampes à incandescence et des charbons de lampes à arc en Russie. P. D.

Sur les propriétés des anneaux à collecteur. — Nous recevons à ce sujet la lettre suivante de M. Heyland :

Je viens de trouver les dernières notes qui ont paru sous ce titre dans *L'Eclairage Electrique* des 23 et 30 novembre, et je suis étonné d'y voir attaquée la priorité de mes brevets à ce sujet.

Le malentendu est causé, évidemment, par le fait que M. Latour ne connaît pas mes brevets en question. Je me réfère donc à ma note du 30 novembre, dans laquelle j'ai expliqué des détails qui font l'objet de mon brevet français demandé le 11 juillet et délivré le 30 septembre 1901, et M. Latour pourra se convaincre que ce brevet est autre que celui dont il parle dans sa note du 23 novembre.

J'ai pris, la première fois, connaissance des travaux de M. Latour par une lettre de M. Leblanc, du 25 octobre 1901, et il me semble tout naturel qu'un semblable moteur ne saurait marcher, surtout, sans discuter la théorie, à cause des étincelles (1) qui se formeraient aux balais.

La question posée par M. Latour (voir supplément de la *Revue* du 30 novembre) démontrée théoriquement par lui et prouvée expérimentalement par M. Boucherot le 23 novembre, est que l'impédance des anneaux à collecteur parcourus par ces courants polyphasés est fonction de la vitesse de rotation. Mais ce fait ne me semble pas nouveau. J'ai vu, il y a des années, de petits moteurs à courants alternatifs à collecteur simple qui conservaient constamment une certaine vitesse près du synchronisme. La raison en était la grande impédance du bobinage, qui augmentait quand le moteur se trouvait au-dessous ou au-dessus du synchronisme et l'empêchait d'accélérer sa vitesse.

Du reste, l'essai de M. Boucherot lui-même démontre d'une façon originale que, dans mon moteur, d'autres choses se passent. M. Boucherot a constaté que l'impédance variait bien avec des courants polyphasés, mais ne variait pas avec un courant alternatif simple.

Mais mon moteur, construit par la « Vereinigte Electricitäts Gesells. », à Vienne (voir ma lettre du 30 novembre), qui a donné des résultats parfaits et duquel une description exacte est sous presse dans l'*Elektrotechnische Zeitschrift*, était alimenté à l'aide de 2 balais par un courant alternatif simple.

Alexandre Heyland.

Bruxelles, 20 décembre 1901.

(1) Excepté des moteurs de puissance minime 1/10 H. P., etc.

M. Latour pense que ces étincelles disparaîtraient pour la marche synchrone. C'est une erreur, ces étincelles sont produites par les interruptions brusques du courant à chaque lame, elles présentent une forme d'énergie (produite par la self-induction et le courant dans chaque spire) laquelle doit être détruite par les interruptions. C'est aussi pourquoi ces étincelles ne changent pas sensiblement si l'on choisit des balais en cuivre ou en charbon. La lettre de M. Boucherot ne parle pas des conditions dans lesquelles se faisait la commutation.

LITTÉRATURE DES PÉRIODIQUES

Pour la signification des abréviations, voir numéro du 9 novembre, p. LXXVIII.

Applications mécaniques.

Les ascenseurs du chemin de fer de City and South London (E R, p. 977, 13 décembre).

Pont roulant électrique de fonderie construit par la Elektrizitäts-Actien-Gesellschaft de Prague-Visotchan (B S E, p. 670, novembre).

Equipement électrique d'une grue mobile (E R, p. 891, 29 novembre).

Equipement électrique des grues; Will Rung (E R, p. 903, 29 novembre).

Grue Titan électrique de 100 tonnes des ateliers de construction de Benrath (R I, p. 474, 30 novembre).

Application de l'électricité aux machines de filature (R M, p. 506, novembre).

Machines-outils à l'Exposition de Glasgow; Fred Bathurst (E R, p. 889, 29 novembre).

Télétachimètre électrique; E. Hospitalier (I E, p. 519, 25 novembre).

Adoption des signaux électriques sur les lignes de tramways suburbains ou interurbains à voie simple ou double et l'économie de leur construction; William Pestell (S R J, p. 475, novembre).

Note sur les block-system : Krizik (Autriche); Zeest

(Russie); Cardani-Servettas (Italie); Siemens et Halske (Allemagne et Autriche) (R C T, p. 614, décembre).

Traction.

La solution du problème de la traction électrique; A.-Th. Muller (C A E, p. 221, 15 août; p. 235 et 245, 1er et 15 septembre).
L'exploitation électrique des chemins de fer; E.-A. Ziffer (E R, p. 733, 1er novembre).
Les chemins de fer électriques ordinaires à marche rapide; Max Schiemann (E T Z, p. 595, 25 juillet).
Traction électrique à grande vitesse; C.-A. Carus-Wilson (El, p. 126, 15 novembre).
Sur l'emploi de l'électricité pour la traction des chemins de fer; C.-A. Carus-Wilson (E, p. 309 et 334, 6 septembre; E R, p. 493, 20 septembre).
Les chemins de fer électriques à grande vitesse; Reymond-Schiller (Z E T, p. 380, 388 et 400, 4, 11 et 18 août).
Traction électrique sur les chemins de fer et tramways; Ph. Cardew (R C T, p. 88, juillet).
Chemins de fer électriques; Major P. Cardew (El, p. 722, 30 août); p. 992, 18 octobre).
Sur l'application de la traction électrique sur les chemins de fer métropolitains (E, p. 521, 11 octobre).
L'électricité sur les grandes voies ferrées (E R, p. 613, 11 octobre).
Chemin de fer électrique pour fortes rampes (D E L, p. 461, 28 septembre).
Revue des chemins de fer; Rob. Mc Culloch (E R N Y, p. 492, 19 octobre).
Sur le remplacement des locomotives à vapeur par des locomotives électriques; W. Langdon (J E E, p. 124, février).
Chemins de fer électriques à marche rapide; Walter Reichel (E T Z, p. 671, 22 août; p. 745 et 776, 12 et 19 septembre; p. 841, 10 octobre).
Le chemin de fer électrique à courants polyphasés de Zossen destiné à des expériences de vitesse de 125 milles à l'heure; Walter Reichel (E W, p. 367, 7 septembre; p. 536, 5 octobre).
Les voitures électriques pour chemins de fer rapides de l'Allgemeinen-Elektricitats-Gesellschaft; O. Lasche (E T Z, p. 803, 26 septembre).
Voiture de chemin de fer à grande vitesse de l'A. E. G.: O. Lasche (E, p. 361 et 369, 13 septembre; El, p. 798, 13 septembre; E R, p. 449, 13 septembre).
Voiture à grande vitesse sur la ligne Berlin-Zossen (S R J, p. 197, septembre).
Chemins de fer électriques d'essais de l'A.E.G. et de Siemens et Halske (El, p. 630, 16 août).
La locomotion électrique à grande vitesse en Allemagne (I E, p. 385, 10 septembre).
Traction électrique des tramways (E, p. 747, 29 novembre).
Tramways électriques; P. Cardew (El, p. 959, 11 octobre).
Tramways électriques (Z E T, p. 528, 3 novembre).
Les tramways : revue du passé et prévisions pour l'avenir; Rob. Mc Culloch (E R N Y, p. 516, 26 octobre).
Note sur la pratique moderne des tramways électriques; A.-H. Armstrong (S R J, p. 186, septembre).
Importance des appareils à courants polyphasés dans les projets d'usines génératrices pour tramways; J.-E. Woodbridge (E W, p. 592 et 638, 12 et 19 octobre).
Résistance des trains à la traction; J.-A.-F. Aspinall (El, p. 259, 6 décembre).
Calcul de la puissance requise pour la traction des tramways; A.-G. Hansard (El, p. 937, 11 octobre).
Sur un nouveau procédé pour déterminer la puissance disponible à la jante des roues d'une voiture automobile; P. Gasnier (I E, p. 469, 25 octobre).
Comparaison de la traction par accumulateurs et par trôlet aérien; E.-R. Gilbert (E R, p. 1031, 20 décembre).
Convient-il d'adopter les accumulateurs de préférence aux conducteurs aériens pour la traction électrique (D E L, p. 393, 17 août).

ATELIERS RUHMKORFF

J. CARPENTIER

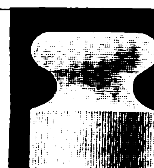
INGÉNIEUR-CONSTRUCTEUR

PARIS — 20, rue Delambre — PARIS

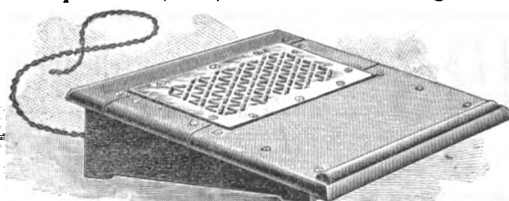
Ohmmètres et Galvanomètres portatifs pour la mesure des isolements. — Wattmètres pour la vérification des compteurs. — Hystérésimètre Blondel. — Voltmètres de précision. — Résistances étalonnées pour mesures d'intensité. — Installation pour la vérification des ampèremètres et voltmètres. — Potentiomètre. — Boites de résistances industrielles. — Appareils pour la mesure rapide des faibles résistances. — Pyromètres électriques Le Chatelier. — Bobines Ruhmkorff pour l'inflammation des moteurs à gaz.

Société Anonyme des anciens Établissements

PARVILLÉE FRÈRES & CIE



Capital : 1,000,000 de fr. — Siège social : **29, rue Gauthey, PARIS, 17e**



Chauffe-pieds électrique pour Bureaux, n° 182.

PORCELAINES & FERRURES

pour l'Électricité

✱✱✱

CHAUFFAGE ÉLECTRIQUE

✱✱✱

Adresse télégraphique : CÉRAMIQUE-PARIS

Téléphone : 510-72

PIRELLI & CIE, MILAN

GRAND PRIX

PARIS

1900

Société pour l'exploitation générale

Du Caoutchouc, de la Gutta-Percha et Similaires

FILS ET CABLES ÉLECTRIQUES ISOLÉS

Siège social et Usine principale à MILAN

Usine succursale pour la construction des câbles sous-marins SPEZIA



CABLES SOUTERRAINS ET SOUS-MARINS

CABLES TÉLÉPHONIQUES avec isolement de papier à circulation d'air

---

MOTEURS ÉLECTRIQUES

Vrais LUNDELL

Type hermétique de 1/4 de cheval à 10 chevaux

— Courant continu —



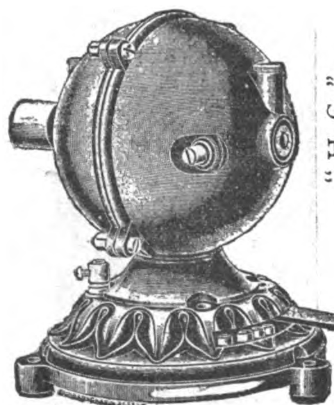
" Lundell "

PETITS MOTEURS ÉLECTRIQUES

H. C. HERMÉTIQUES

De 1/10, 1/8, et 1/6 de cheval

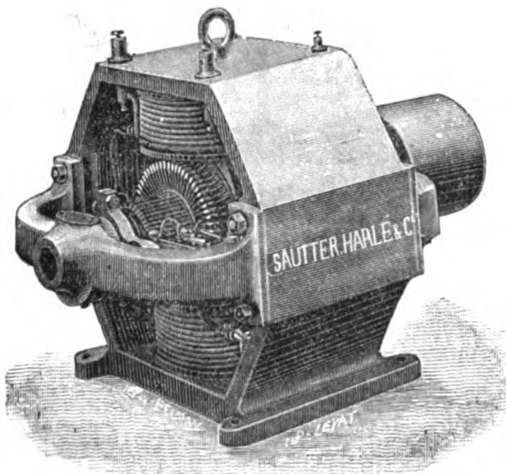
Courants continus et alternatifs



" H. C. "

E.-H. CADIOT et Cie

12, rue St-Georges, Paris — Téléphone : 152-26



SAUTTER, HARLÉ & Cie

26, avenue de Suffren, 26

PARIS

EXPOSITION UNIVERSELLE DE 1889

Hors Concours — Membre du Jury

ÉLECTRICITÉ

ÉCLAIRAGE — TRANSPORT DE FORCE

ACCUMULATEURS

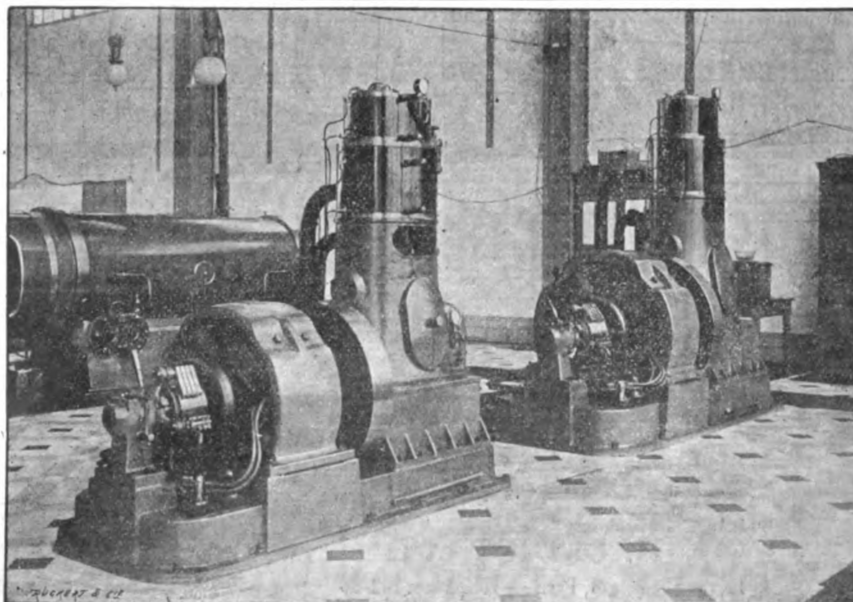
Exposition Universelle 1900
Médaille d'Argent

POUR

Voitures Électriques
Stations centrales
Tramways
Allumage des moteurs

HEINZ

Bureaux et Usine : 16, rue Rivay, à LEVALLOIS — TÉLÉPHONE 537-58



Station électrique du Chemin de fer d'Orléans

Groupes Électrogènes "BL"

à graissage sous pression et à haut rendement

158 Machines en fonctionnement de 10 à 500 chevaux

Ateliers de construction

Boulte, Larbodière et Cie

20, rue Taitbout

PARIS

Ateliers à **Aubervilliers** (Seine)

Un nouveau type d'appareil de chauffage pour les voitures (S R J, p. 372, octobre).
Chauffage des voitures à bogies de la Compagnie du chemin de fer du Nord; M.-F. L'Heureux (R I, p. 434, 2 novembre.
Locomotive à crémaillère et à adhérence pour le chemin de fer de Fourvière et de l'Ouest-Lyonnais; F. Barbier (G C, p. 286, 31 août).
Locomotive à air comprimé de Brooklyn (S R J, p. 372, octobre).
Etude sur les locomotives américaines; J. Oudet (R M, p. 389, octobre).
Comparaison entre une locomotive électrique et une locomotive à vapeur; Böhm-Raffay (Z E T, p. 420 et 430, 1er et 8 septembre).
Construction des rails pour tramways, par Bolckow, Vaughan et Company (S R J, p. 444, novembre).
Le circuit de retour dans la traction électrique (E R, p. 827.
Le procédé le plus simple pour ramener le courant de retour à l'usine génératrice; E.-G. Connette (S R J, p. 477, novembre).
Comment se sont comportés les connecteurs flexibles Copper sur la ligne de tramways Baltimore-Ohio (S R J, p. 435, novembre).
Le procédé alumino-thermique de joindre les rails; S. Archdeacon (S R J, p. 383, octobre).
Le joint Falk (Ele, p. 167, 14 septembre).
Eclisses électriques et méthodes d'essais; A.-B. Herrick (E R, p. 207, 2 août).
Appareil pour la vérification rapide de l'éclissage électrique des rails (S R J, p. 355, octobre).
Les tramways électriques et l'électrolyse; A.-H.-B (Ele, p. 70, 3 août).
Sur l'électrolyse par les courants de retour (E. R, p 574, 4 octobre).
Mesure des courants vagabonds dans les conduites de gaz et d'eau; Absalon Larsen (E T Z, p. 1038, 19 décembre).
Destruction des conduites de gaz par l'électricité; W. Leybold (E R, p. 492, 20 septembre).
L'enregistreur automatique de trains de la Brooklyn Rapid Transit Company (S R J, p. 406, novembre).
Accident très instructif survenu sur une ligne de tramways; E.-C. Parham (A E, p. 544, novembre).
Correspondances et leurs problèmes en ce qu'ils affectent spécialement New-York; Oren Root (S R J, p. 254, octobre).
Comment on rend productives les lignes de tramways qui ne le sont pas; H.-S. Cooper (S R J, p. 93, août; p. 159, septembre; p. 428, novembre).
Prix de revient de la voiture-kilomètre et comment y arriver facilement; J.-M. Smith (S R J, p. 488, novembre).
Rapport du comité de l'American Street Railway Association pour l'uniformisation du matériel des tramways (S R J, p. 483, novembre).
Id.; F.-E. Smith (p. 485, novembre).
Notes et commentaires sur la réunion des exploitants de tramways électriques; O. Kittredge (S R J, p. 424, novembre).
La question des transports rapides à Londres, par traction électrique; F.-J. Sprague (E M, p. 1, octobre).
Les tramways de Londres (E R, p. 149, 26 juillet; p. 175 et 215, 2 et 9 août).
Chemins de fer souterrains de Londres (El, p. 558, 2 août).
Nouveau tramway à Londres (S R J, p. 183, septembre).
Tramways électriques de la London United tramways (El, p. 4, 25 octobre).
Communication du tramway électrique avec celui de la Métropole (E, p. 750, 29 novembre).
Projets de tramways devant le Parlement (E, p. 794, 13 décembre).
Tramways électriques de la Société des tramways réunis de Londres (El, p. 977, 18 octobre).
Application de l'électricité aux Métropolitains urbain et suburbain de Londres (E, p. 612, 626, 658, 689, 1er, 8, et 15 novembre; p. 809, 13 décembre).
L'équipement électrique du cercle intérieur de Londres. — Question d'arbitrage (El, p. 63, 91 et 101, 1er et 8 novembre).
L'équipement électrique du réseau intérieur de Londres (arbitrage) (El, p. 132, 15 novembre; E R, p. 744 et 791, 8 et 15 novembre; El, p. 181, 22 novembre).
La traction électrique sur le circulaire intérieur de Londres (El, p. 347, 20 décembre).
Enquête sur le tramway électrique souterrain de Londres (E R, p. 709, 1er novembre).
Le chemin de fer City and South London (El, p. 256 et 337, 6 et 20 décembre).
Les conditions de trafic dans la ville de New-York; F.-R. Ford (S R J, p. 225, octobre).
Revue comparée des usines à vapeur des trois grandes stations de traction électrique à New-York; W. Kent (S R J, p. 293, octobre).
Le développement des faubourgs de Brooklyn et sa relation avec l'augmentation des lignes de tramways; J.-C. Brackenridge (S R J, p. 314, octobre).
L'organisation de la Metropolitan Street Railway Company de New-York; H.-H. Vreeland (S R J, p. 249, octobre).
Notes sur l'usine de force motrice du Metropolitan Street Railway; G. Starrett (S R J, p. 259, octobre).
Distribution électrique du Metropolitan Street Railway Company, de New-York; W.-A. Pearson (S R J, p. 265, octobre).
L'usine génératrice et le système de distribution de la Metropolitan Street Railway, de New-York (E W, p. 531, 5 octobre).
Entretien des voitures sur le Metropolitan Street Railway de New-York; Thomas Millen (S R J, p. 273, octobre).
Le matériel roulant de Greather, New-York; E. Chamberlain (S R J, p. 317, octobre).
Les usines de force et le système de distribution de la Brooklyn Rapid Transit Company; C.-E. Roehl (S R J, p. 323, octobre).

Ligne à batteries d'accumulateurs à New-York (S R J, p. 208, septembre).
Les tramways souterrains de New-York (S R J, p. 95, août).
Le nouveau chemin de fer souterrain de New-York ; Ch. Prelini (E, p. 477, 4 octobre).
Chemin de fer à marche rapide à travers New-York (E R N Y, p. 343, 21 septembre).
La ligne de tramways à grande vitesse de New-York (E R, p. 664, 25 octobre).
Tunnel pour transit rapide à New-York (S R J, p. 277, octobre).
La récente application de l'électricité à la traction des chemins de fer urbains de New-York ; A. Hruschka (E T Z, p. 863, 883 et 901, 17, 24 et 31 octobre).
Quelques problèmes de tramway à Brooklyn ; J.-L. Greatsinger (S R J, p. 310, octobre).
Les tramways de Atlanta (Etats-Unis) (S R J, p. 73, août).
Tramways électriques de la ville de Brighton (El, p. 254, 6 décembre).
Le trôlet dans le district de Bronx ; C.-A. Maher (S R J, p. 333, octobre).
Les tramways électriques de Colombo, Ceylan ; H.-S. Morrison (S R J, p. 422, novembre).
Les tramways de Croydon (El, p. 899, 4 octobre).
Les tramways de Dublin (El, p. 587 et 667, 9 et 23 août ; p. 747, 6 septembre).
Les tramways électriques de East Ham (E R, p. 311, 23 août).
Les tramways de Glasgow (E R, p. 349, 30 août ; p. 396, 435 et 477, 6, 13, 20 septembre).
Les tramways électriques de Hambourg-Blankenes (E T R, p. 229, 1er août).
Une longue ligne de traction électrique dans le Massachusetts ; D. Adams (E W, p. 326, 31 août).
Le développement des réseaux à trôlet dans l'état de Michigan ; Edward-J. Hart (E W, p. 812, 16 novembre).
Les tramways de Naples ; Cesare Pio (S R J, p. 79, août).
Le réseau des tramways de la New Orleans and Carrollton Railroad Company (S R J, p. 393, novembre).
Le système du Norfolk and Atlantic Terminal Railway Co (S R J, p. 139, septembre).
Tramways électriques de Ohio ; G.-S. Davis (A E, p. 107, août).
La Compagnie d'éclairage et de force motrice du tramway de Sao Polo (S R J, p. 167, septembre).
Société des tramways électriques de Southend-sur-Mer (El, p. 513, 26 juillet).
Le tramway électrique de Sutton et Howth, comté de Dublin (E R, p. 623, 18 octobre).
Tramways de Toledo et Monroe ; W.-S. Conant (S R J, p. 84, août).
Tramway interurbain Toledo-Ohio-Monroe-Michigan (E W, p. 165, 3 août).
Commentaires sur le procès pendant à Vienne à propos du réseau des tramways électriques ; Heinrich Schreiber (Z E T, p. 579, 1er décembre).
Tramways électriques souterrains pour les villes anglaises (El, p. 140, 15 novembre).
Le chemin de fer d'Albany et de Hudson (E R N Y, p. 69, 20 juillet).
Le chemin de fer électrique de Berthoud à Thoune ; M. Mauguin (R C T, p. 181, septembre).
Le chemin de fer élevé de Boston ; Francis-H. Shepard (E W, p. 213, 10 août).
Chemin de fer Métropolitain électrique de Boston (R C T, p. 267, septembre).
Usines génératrices du chemin de fer élevé de Boston (E W, p. 257, 17 août).
La manipulation du charbon nécessaire aux usines génératrices du chemin de fer élevé de Boston (E W, p. 396, 7 septembre).
Le chemin de fer élevé et souterrain de Berlin (El, p. 783, 13 septembre).
Les usines électriques du chemin de fer du Fayet à Chamonix ; E. Javaux (I C, p. 662, octobre).
L'équipement électrique du chemin de fer de la Jungfra (I E, p. 413, 25 septembre).
Traction électrique à grande vitesse entre Milan et les lacs italiens (S R J, p. 99, août).
La traction électrique sur la ligne des Invalides à Versailles. Canalisations et sous-stations. Voie électrique et locomoteurs ; F. Drouin (G C, p. 313, 14 septembre ; p. 413, 26 octobre).
Le chemin de fer électrique de Toledo et Monroe (E R N Y, p. 246, 31 août).
Essais de traction électrique sur les chemins de fer interurbains de Vienne (D E L, p. 441, 14 septembre).
Chemins de fer électriques interurbains (E R N Y, p. 166, 10 août).
L'emploi de l'électricité sur les chemins de fer vicinaux belges (E, p. 491, 4 octobre).
La solution du problème des automobiles électriques ; Th. Müller (C A E, p. 257, 1er octobre).
Nouveau procédé pour déterminer la puissance disponible à la jante des roues d'une voiture automobile ; P. Gasnier (I E, p. 469, 25 octobre).
Omnibus électromobiles Siemens et Halske à trôlet (E T Z, p. 964, 21 novembre).
Moteurs électriqnes Postel Vinay pour automobiles ; P. Gasnier (I E, p. 342, 10 août).
Nouvelle station de charge de l'Electric Vehicle Transportation Co (G C, p. 309, 7 septembre).
Automobiles et usines électriques ; W.-E. Warrilow (E R, p. 624, 18 octobre).
Essais d'automobiles électriques à Cleveland et Chicago ; F.-C. Philipps (E W, p. 391, 7 septembre).
L'exposition d'automobiles de Madison Square, à New-York (E R N Y, p. 612, 16 novembre).
La traction électrique sur canaux en France ; M. Fabre (E R N Y, p. 165, 10 août).
Le bateau électrique sous-marin Holland (E R N Y, p. 389, 28 septembre).

Télégraphie et Téléphonie.

Brevets Lodge relatifs à la télégraphie sans fil (E T R, p. 238, 15 août).
Système de télégraphie sans fil Armstrong Orling (E R, p. 1061, 20 décembre).
Télégraphie sans fil de C.-F. Blockmann de Kiel (E T R, p. 2, 1er octobre).
Cohéreurs. Leur développement, leur construction et leur emploi comme détecteurs d'ondes électriques ; A.-Frederick Collins (E W, p. 251, 17 août.
Les cohéreurs à limaille ; Eules (El, p. 682, 710, 715, 23 et 30 août).
Expériences de télégraphie sans fil entre Bruxelles, Malines et Anvers ; E. Guarini (J T, p. 179, 25 juin ; E T Z, p. 638, 8 août).
Installation de la télégraphie sans fil sur les vaisseaux de la flotte anglaise (E R, p. 789, 15 novembre).
La télégraphie sans fil dans la marine (E R, p. 18, 25 octobre).
Note sur la « duplexion » des câbles ; H.-H. Kingsford (J E E, p. 1020, juin).
Système de télégraphe rapide et économique ; Romyn Hitchcock (E W, p. 816, 16 novembre).
Télégraphe rapide système Delany (E W, p. 218, 291, 10 et 24 août ; E R N Y, p. 385, 28 septembre).
Télégraphie rapide (E W, p. 100, 20 juillet).
La télégraphie par le système Bedell (Elc, p. 65, 3 août).
Les avantages du télégraphe automatique ou mécanique ; A. Cahahan (E W, p. 133, 27 juillet).
Télégraphe multiplex Mercadier (E R, p. 139, 26 juillet).
Lignes télégraphiques de campagne pour le service de l'armée ; lieutenant Sabin Gibbs (E R N Y, p. 353, 21 septembre).
Les conducteurs télégraphiques aériens et les orages du 12 novembre, en Angleterre (E R, p. 1029, 20 décembre ; El, p. 357, 20 décembre).
Récepteur de télégraphie sous-marine de M. Ader ; Cl. Jaulin (J T, p. 173, 25 juin).
Le Bill du Câble Pacifique (El, p. 597, 9 août).

Le câble allemand-américain entre Fayal et New-York (E T Z, p. 1010, 5 décembre).
Extension des réseaux télégraphiques sous-marins (E, p. 818, 13 décembre).
Rapports de M. Clark sur la situation du télégraphe en Amérique (E W, p. 292, 24 août).
Les télégraphes au Brésil pendant l'année 1898 (J T, p. 227, 25 août).
Les télégraphes et les télephones en Belgique pendant l'année 1899 (J T, p. 185, 25 juin).
Les télégraphes et les téléphones en Suisse pendant l'année 1900 (J T, p. 221, 25 août).
Les télégraphes et les téléphones dans les Pays-Bas pendant l'année 1899 (J T, p. 232, 25 août).
Les télégraphes et les téléphones en Suisse pendant l'année 1900 (J T, p. 245, 25 septembre).
Les télégraphes et les téléphones des Indes britanniques pendant l'année 1899-1900 (J T, p. 250, 25 septembre).
Les télégraphes et les téléphones en Grande-Bretagne pendant l'année financière du 1[er] avril 1900 au 31 mars 1901 (J T, p. 257, 25 septembre).
Les télégraphes et les téléphones dans la colonie de Victoria en 1900 (J T, p. 306, 25 novembre).
Les câbles télégraphiques et téléphoniques des télégraphes de l'Empire allemand (J T, p. 293, 25 novembre).
Les franchises des Compagnies téléphoniques et télégraphiques; G.-C. Hamilton (E R N Y, p. 76, 20 juillet).
Notes sur le téléphone ; W.-S. Henry (A E, p. 591, décembre).
Sur los câbles téléphoniques (El, p. 958, 11 octobre).
Influence de la résistance des isolants sur les conducteurs téléphoniques aériens dans le système Pupin ; F. Breisig (E T Z, p. 1029, 12 décembre).
Mesures de la self-induction d'un câble téléphonique ; F. Breisig (E T Z, p. 1046, 19 décembre).
Chariot-tendeur pour la pose des câbles téléphoniques ; W.-S. Henry (A E, p. 403, août).
La construction des petits bureaux téléphoniques ; A.-E. Dobbs (E R N Y, p. 144, 12 octobre, p. 631, 661, 23 et 30 novembre, p. 699, 7 décembre).
Plan et équipement économiques d'un bureau téléphonique ; Arthur-V. Abbott (E W, p. 929, 7 décembre).
Installation de téléphone automatique (E R N Y, p. 198, 17 août).
Téléphone d'appartement (E W, p. 954, 7 décembre).
Système de batterie centrale avec contrôle par lampes à incandescence pour bureau téléphonique (DEL, p. 464, 28 septembre).
Substitution d'une batterie centrale à un appel à magnéto; Ch.-L. Goodrum (E W, p. 547, 5 octobre).
Rendement des génératrices employées en téléphonie ; W.-S. Henry (A E, p. 453, septembre).
Magnétos donnant des courants pulsatoires pour signaux sélectionnés en téléphonie ; N.-H. Holland (E W, p. 327, 31 août).
Tableau sans cordons souples pour petits bureaux centraux téléphoniques (système Mix et Genest) ; Giron (Ele, p. 129, 31 août).
Exposition du téléphone Kellog et du tableau de distribution à Buffalo (E R N Y, p. 524, 26 octobre ; E W, p. 697, 26 octobre).
Tableau commutateur téléphonique pour 50 abonnés (modèle 1899) de l'administration allemande (Ele, p. 310, 10 novembre).
Bureau téléphonique automatique système Faller (E W, p. 940, 7 décembre).
Système de signaux applicable à des portions de réseaux téléphoniques (A E, p. 511, octobre).
Serrure sélective pour ligne téléphonique desservant plusieurs abonnés (E W, p. 952, 7 décembre).
Appareils téléphoniques système de Veau (E W, p. 953, 7 décembre).
Nouveau système de téléphone dû à M. Oscar Leich (E R N Y, p. 552, 2 novembre).
Nouveaux perfectionnements apportés au téléphone (E W, p. 819, 16 novembre).
Dispositif automatique de la Berliner Telephone C° permettant de communiquer d'un même point avec les différentes pièces d'une maison (E R, p. 820, 15 novembre).
Le téléphone multiplex système Siemens et Halske au bureau III de Berlin ; P. Krösing (E T Z, p. 909, 31 octobre ; p. 928, 947, 7 et 14 novembre).
Nouveau transmetteur téléphonique de l'administration impériale des postes allemandes ; J. Baumann (Ele, p. 161, 14 septembre).
Nouveau modèle de téléphone (E R N Y, p. 359, 21 septembre).
Un nouveau microtéléphone haut parleur ; W. Kresja (Ele, p. 202, 28 septembre).
Perfectionnements divers aux appareils téléphoniques (E R N Y, p. 291, 7 septembre).
Système de mandats ou de payements par téléphone (E W, p. 934, 7 décembre).
Coopération du public au perfectionnement du service des téléphones ; B. Baker (E W, p. 372, 7 septembre).
L'usage du téléphone sur les lignes de tramways (E W, p. 217, 10 août).
Téléphonie militaire dans l'Etat de New-York (E W, p. 182, 3 août).
Le bureau téléphonique de l'Exposition Pan-Américaine; H.-W. Pope (E W, p. 112, 20 juillet).
Le nouveau bureau téléphonique de Chemnitz (E T R, p. 224, 1[er] août).
L'instalaltion de la Compagnie téléphonique de Rochester (E R N Y, p. 125, 3 août).
Le nouvel établissement téléphonique de Minneapolis (E W, p. 294, 24 août).
Un bureau téléphonique modèle à New-York (E R N Y, p. 215, 24 août).
Le nouveau réseau téléphonique de Munich (El, p. 706, 30 août : p. 751, 789, 6 et 13 septembre).
Le nouveau bureau téléphonique de Bruxelles (E T Z, p. 751, 12 septembre).
Installation d'une Compagnie téléphonique libre dans l'Ohio (E W, p. 430, 14 septembre).
Bureau téléphonique à communications automatiques de

Fall River, Massachussets (E R N Y, p. 604, 16 novembre).
Installation du téléphone à l'usage de la police à l'Exposition Pan-Américaine (E W, p. 866, 23 novembre).
Nouveau bureau central téléphonique de la National Telephone C° à Kensington (El, p. 250, 292, 6 et 13 décembre).
Le Bureau central des téléphones de Londres (E R, p. 933, 1047, 6 et 20 décembre).
L'hôtel des téléphones de la Maryland Telephone and Telegraph Company ; Kempster B. Miller (E W, p. 921, 7 décembre).
Le nouveau bureau téléphonique à batterie centrale de New-York City; Herbert-Lan Webb (E W, p. 925, 7 décembre).
Nouveau bureau téléphonique automatique dans le Massachussetts (E W, p. 928, 7 décembre).
Bureau téléphonique de Glasgow (El, p. 333, 20 décembre).
Les nouveaux progrès de l'arc chantant (E T R, p. 240, 15 août).
Images cinématographiques de l'arc voltaïque : photographophon ou phonographe photographique ; E. Ruhmer (D. A., p. 803-811, août).

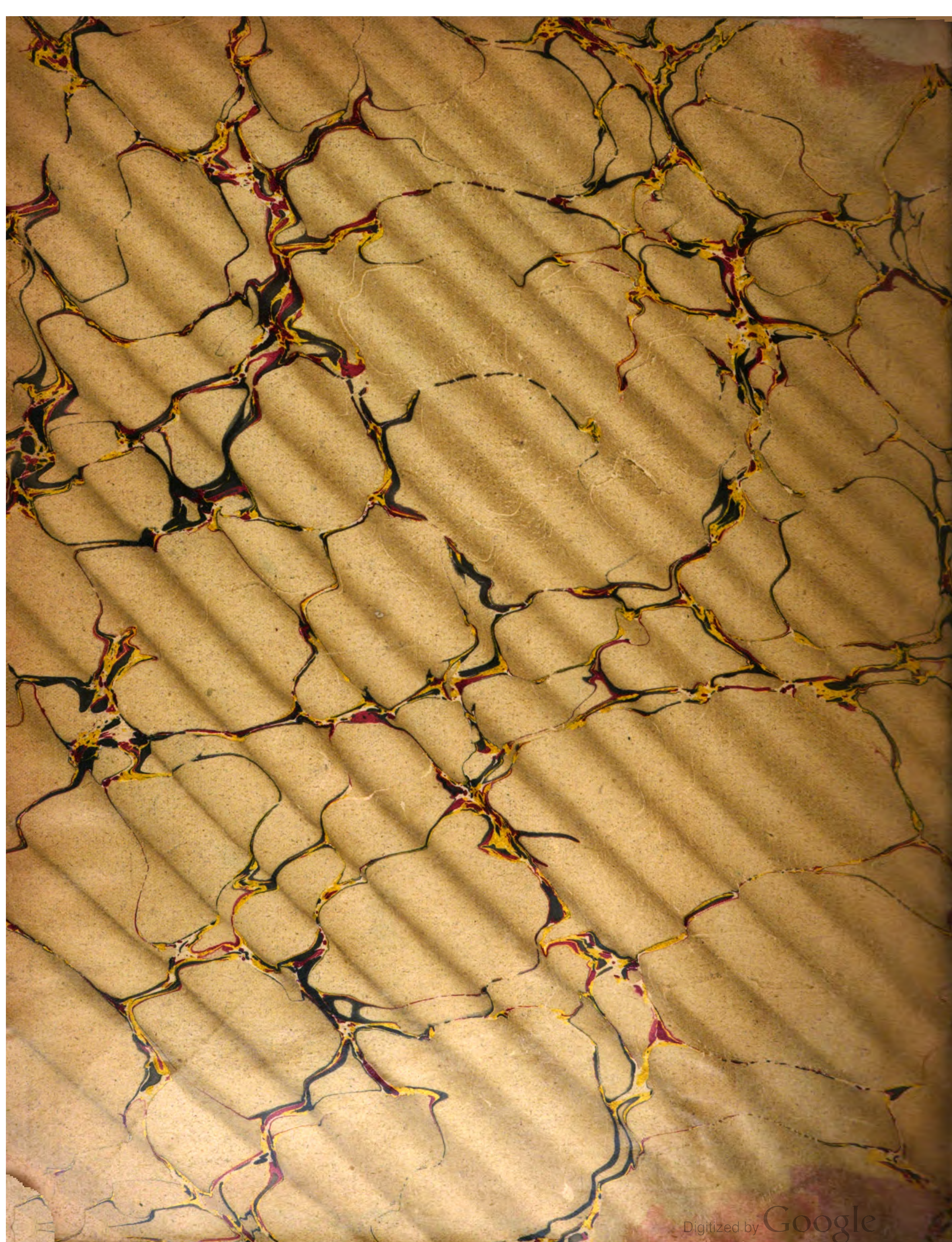
Applications thermiques

Appareils pour le chauffage et la stérilisation des liquides (J F I, p. 295, octobre).
Emploi de la chaleur de l'arc pour produire la fusion (préparation de l'aluminium, carbure de calcium, verre); Bermbach (E T Z, p. 628, 1er août).
Volatilisation des substances par l'électricité ; W. Weiler (E T R, p. 52, 1er décembre).
Un nouveau four électrique (E R, p. 132, 26 juillet).
Distribution de la chaleur dans le four électrique (E W, p. 373, 7 septembre).
Four électrique pour la trempe et le recuit des métaux (G C, 342, 21 septembre).
Four électrique (E W, p. 730, 2 novembre).
Four électrique Paul Bary (E W, p. 818, 16 novembre).
L'explosion des torpilles par l'électricité (E R, p. 335, 30 août).

Eclairage.

Les éléments de l'éclairage ; Louis Bell (E W, p. 98, 20 juillet ; p. 261, 295, 10 et 24 août ; p. 463, 21 septembre ; p. 641, 19 octobre ; p. 721, 850, 6 et 23 novembre).
Le gaz contre l'électricité ; Alton-D. Adams (E W, p. 676, 26 octobre).
Nouveau système d'éclairage électrique ; J. Löwy (Z E T, p. 503, 20 octobre).
Machines automatiques pour l'éclairage électrique (E R N Y, p. 135, 3 août).
Regulation de la lumière électrique (E W, p. 906, 30 novembre).
Sur les rapides variations du courant dans l'arc à courant continu ; W. Duddell (J E E, p. 232, février).
Sur la résistance et la force électromotrice de l'arc électrique ; W. Duddell (E R, p. 498, 20 septembre ; El, p. 918, 4 octobre).
Le mécanisme de l'arc électrique ; Hertha Ayrton (El, p. 635, 16 août ; E R, p. 259, 16 août).
Observations sur la communication de MM. Laporte et Léonard sur les arcs électriques ; A. Blondel (Sie, p. 565, novembre).
Comparaison entre les lampes à arc clos et les lampes à arc libre pour l'éclairage des rues ; W. d'A. Ryan (A E, p. 522, novembre).
Appareil perfectionné pour la photométrie de l'arc électrique ; Charles-P. Matthews (A I E E, p. 671, août-septembre).

Transformations successives des lampes à arc; Alton-D. Adams (E W, p. 888, 30 novembre).
Descriptions de lampes décoratives pour l'éclairage électrique; G.-E.-C. Showrooms (E R, p. 637, 18 octobre).
Lampes à arc différentielles pouvant se monter par 3 en série sur circuit à 110 volts d'après le système de la Anker-Elektricitats-Gesellschaft (D E L, p. 365, 3 août).
Lampe électrique à trois arcs (D E L, p. 462, 28 septembre).
La lampe « Ark » (El, p. 644, 16 août).
Lampe à arc en vase clos système L. Bardon; J.-A. Montpellier (Ele, p. 81, 10 août).
La lampe à arc Bremer (El, p. 709, 30 août).
Lampes à arc de la Compagnie générale électrique de Nancy; A. Bainville (Ele, p. 177, 21 septembre).
La lampe électrique; E. Rasch (E R, p. 141, 26 juillet).
Réglage des lampes à arc; E. Chester (E R, p. 340, 30 août).
Protecteurs pour lampes à arc à courant alternatif (E R N Y, p. 261, 31 août).
Couplage de conducteurs système Schwarz pour lampes à arc (E T R, p. 251, 1er septembre).
Rendement et remplacement des lampes à incandescence (El, p. 638, 16 août).
Lampe à incandescence Sterling (E W, p. 565, 5 octobre).
La lampe à incandescence Crawford-Voelker; F.-Z. Maguire (E R, p. 915, 6 décembre).
Une invention intéressante concernant les lampes à incandescence (E R N Y, p. 460, 12 octobre).
La lampe à osmium (D E L, p. 439, 14 septembre).
Types américains de lampes Nernst (E R, p. 584, 11 octobre).
La lampe Nernst en Allemagne; Kilburn Scott (E W, p. 294, 24 août).
Recherches sur la lampe de Nernst; W. Wedding (E T Z, p. 620, 1er août).
Développement de la lampe Nernst en Amérique; A.-J. Wurts (A I E E, p. 511, juin-juillet; E W, 328, 31 avril; E R N Y, p. 341 et 278, 31 août et 7 septembre; AE; p. 437, septembre).
La lampe à arc au mercure de Cooper-Hewitt (E W, 503, 28 septembre; El, p. 946, 11 octobre; Z E T, p. 513, 27 octobre; Ele, p. 305, 16 novembre).
Epreuves à faire subir aux douilles de lampes à incandescence Edison conformément aux prescriptions de la Société des ingénieurs électriciens allemands (E T Z, p. 647, 15 août).
Lampes électriques de sûreté pour mines; S.-F. Walker (J E E, p. 815, juin).
Lampe électrique pour mine; Sydney-F. Walker (Z E T, p, 434, 8 septembre).
L'éclairage des trains; Leo Cohn (D E L, p. 557, 23 novembre; p. 581, 7 décembre).
Récents progrès dans l'éclairage électrique des côtes françaises; Quinette de Rochemont (E, p. 419, 20 septembre).
Historique du développement des fontaines lumineuses; Luther Stieringer (E W, p. 417; 14 septembre).
Les jeux d'orgue électriques. Jeu d'orgue système Vedovelli; A. Bainville (Ele, p. 97, 17 août).
Eclairage électrique de East Ham (El, p. 515, 26 juillet).
Installations d'éclairage électrique de Luton (E R, p. 295, 23 août).
Eclairage de l'Exposition Pan-Américaine et des expositions précédentes; Luther Stieinger (E W, p. 89, 20 juillet).
L'exposition de l'éclairage à Buffalo (E W, p. 468, 21 septembre).




UNIVERSITY OF MICHIGAN
3 9015 07500 0342

